



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Taivo Leesment**

**PRINDITUD PINNA VASTUPIDAVUS SAUNA  
KESKKONNAS**

**DURABILITY OF THE PRINTED SURFACE IN THE  
SAUNA ENVIRONMENT**

Magistritöö  
Metsatööstuse õppekava

Juhendaja: Regino Kask, *PhD*  
Kaasjuhendaja: Jörgen Dobris, *MSc*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Taivo Leesment		Õppekava: Metsatööstus	
Pealkiri: Prinditud pinna vastupidavus sauna keskkonnas			
Lehekülgi: 55	Jooniseid: 30	Tabeleid: 17	Lisasid: 1
Osakond / Õppetool: Metsandus- ja maaehitusinstituut CERC S-i kood: B430 ETIS-e teadusvaldkond: Metsandusteadus Juhendaja: Regino Kask ja Jörgen Dobris Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
<p>Pinnaprindi kasutamine Eestis loob lisandväärtust puidupõhiste toodetele, eelkõige turunduslikus aspektis võimaldab see eristuda konkurentsist ja pakkuda kliendile vastavalt tema soovidele toodete viimistlust. Tänu suurematele pinnatrüki seadmetele on võimalik printida ka suurematele pindadele. Sellest lähtuvalt on ettevõtjad hakanud rohkem huvi tundma pinnaprindi vastu ja katsetama uusi võimalusi, kus pinnaprinti kasutada. Sealhulgas ka ekstreemtingimustes nagu saunakeskkond.</p> <p>Magistritöös uuriti pinnaprindi püsivust kahes erinevas saunakeskkonnas. Katsete läbiviimisel kasutati kliimakappe, mis seadistati standardi järgi saunakeskkondade tekkeks. Metoodikas mõõdeti ja hinnati kolme muutujat katsekehadel: koloriitsus, läige ja akrüültindi adhesioon.</p> <p>Tulemustest selgus, et pinnaprinditud värvispektrid termiliselt töödeldud haaval muutusid küll koloriitsuse mõõtmise teel, kuid visuaalselt muutusi ei täheldatud. Läike mõõtmisel selgus, et läikeühik tõusis pinnaprindil soome saunakeskkonnas, kuid vene saunakeskkonnas alaneks. Ristlõikekatse tulemusel halvenes pinnaprinditud akrüültindi adhesioon vene saunakeskkonnas tunduvalt enam kui soome saunakeskkonnas.</p> <p>Uurimustöö eesmärgid said täidetud ja katsetulemustel on praktiline väärtus, mida saab võtta aluseks tulevastes projektidesse, mis on seotud pinnaprindi kasutamisega kuumades ja niisketes tingimustes.</p>			
Märksõnad: pinnaprint, termiline töötlus, haab, akrüültint, läige, ristlõikekatse, adhesioon			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Taivo Leesment		Curriculum: Forest engineering	
Title: Durability of the printed surface in the sauna environment			
Pages: 55	Figures: 30	Tables: 17	Appendixes: 1
Department / Chair: The Institute of Forestry and Rural Engineering (CERC S) code: B430 Field of research: Forest Sciences Supervisors: Regino Kask and Jörgen Dobris Place and date: Tartu 2021			
<p>The use of digital printing in Estonia creates added value for wood-based products, especially in terms of marketing. It allows them to be distinguished amongst the competitors and offer the customer the desired result. Thanks to larger digital printing equipment, it is also possible to print on larger surfaces. As a result, entrepreneurs have become more interested in digital printing and experimenting with new ways of using it, including extreme conditions, such as the sauna environment. The stability of digital printing in two different sauna environments was studied in the master's thesis. During the experiments, climate cabinets were used, which were set according to the standard for the creation of sauna environments. The methodology measured and evaluated three variables on test specimens: color, gloss, and acrylic ink adhesion through a cross-cut test. The results showed that the digitally printed color spectra on the thermally modified aspen changed by measuring the color, but no visual changes were recorded. When measuring the gloss, it appeared that the gloss unit increased on the digital print in the Finnish sauna environment, but decreased in the Russian sauna environment. As a result of the cross-cut test, the adhesion of digitally printed acrylic ink deteriorated considerably more in the Russian sauna environment than in the Finnish sauna environment. The objectives of the research were achieved and the test results have a practical value that can be used as a basis for future projects related to the use of digital printing in hot and humid conditions.</p>			
Keywords: digital printing, thermal modification, aspen, acrylic ink, gloss, cross-cut test, adhesion,			

# SISUKORD

SISUKORD .....	4
SÕNADE JA LÜHENDITE TÄHENDUSED .....	5
SISSEJUHATUS .....	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	8
1.1. Termiliselt töödeldud puidu olemus .....	8
1.2. Termiliselt töödeldud puidu kasutusvaldkonnad .....	10
1.3. Termilise töötamise olemus .....	11
1.4. Pinnatrükk ja selle tehnoloogia .....	13
1.4.1. Tartu Vspa pinnatrükitud sauna sisevoodrilauad .....	13
1.4.2. Pinnatrükimasina olemus .....	16
1.4.3. Printeripead .....	19
1.4.4. UV- kõvenevad akrüültindid .....	20
1.5. CIELab värviruum .....	21
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	23
2.1. Katsekehad .....	23
2.2. Katsed kliimakappides .....	25
2.3. Katsekehade fotografeerimine .....	26
2.4. Koloriitsuse mõõtmine .....	27
2.5. Läike mõõtmine .....	29
2.6. Ristlõikekatse .....	30
2.7. Katseandmete analüüs .....	31
3. TULEMUSED .....	32
3.1. Soome saunakeskkonna koloriitsuse muutused katsekehadel .....	32
3.2. Vene saunakeskkonna koloriitsuse muutused katsekehadel .....	38
3.3. Läike muutused soome saunakeskkonnas .....	44
3.4. Läike muutused vene saunakeskkonnas .....	45
3.5. Ristlõikekatse tulemused soome ja vene saunakeskkonnas .....	46
KOKKUVÕTE .....	50
KASUTATUD KIRJANDUS .....	51
LISAD .....	54
Lisa 1. Tabel adhesiooni visuaalseks hindamiseks. ....	55

## SÕNADE JA LÜHENDITE TÄHENDUSED

Adhesioon - „Külgekleepumine, molekulaarjõud kehade kokkupuutepindade vahel“ [36]

Cross cut test - ristlõikekatse.

Erosioon - „Detaili pinnakihi järkjärguline purunemine (kulumine) tahke aine osakeste, vedeliku - v gaasivooluses v elektrilaengute toimetel“ [36]

Fotoinitsiaator – „Valgustundlik vaik, mis koosneb modifitseeritud akrülaadist, akrüülmonomeerist, katalüsaatorist (fotoinitsiaator) ja stabilisaatorist“ [38]

Koloriitsus (koloriitne) - „Värvikas, värviküllane“ [36]

Monomeer – „madalmolekulaarne ühend, mille molekulid moodustavad omavahel vm monomeeri molekulidega reageerides makromolekule – polümeere (näiteks eteen, metanaal, uurea)“ [11]

Oligomeer – „keemiline ühend, mille molekulmass on suurem kui monomeeril ja väiksem kui polümeeril“ [11]

Pigment – „keemias vees, sideaineis ja orgaanilistes lahustites lahustumatu värviline peendisperseerne pulber, mis sideainetega moodustab kaitsvaid või dekoratiivseid katteid (näiteks ooker)“ [11]

Subtraktiivne- „Süsteem, mis reprodutseerib värvusi sobivate värvikoguste segamisega valgel paberil. Need värvid peegeldavad teatud värvusi ja absorbeerivad teisi. Subtraktiivsed põhivärvused on punane, sinine ja kollane. Trükinduses kasutatav „punane,, on rangelt võttes magenta ja „sinine,, on tsüaan.“ [36]

UV - ultravioletkiirgus

## SISSEJUHATUS

Puidu kasutus Eestis on märkimisväärselt suur ja innovaatiline. 2019. aasta eksporditud puidupõhiste toodete osakaalus oli 55% kõrgema lisandväärtusega tooted. Eesti Metsa- ja Puidutööstuse Liidu tegevjuht Henrik Välja kommenteerib Tööstusuudiste väljaandele, et Eestis suudetakse väärindada puitu tipptasemel, mida rahvusvaheliselt hinnatakse kõrgelt [34]. See loob võimaluse edasi liikuda. Ettevõtjad mõtlevad, kuidas anda oma toodetele lisandväärtust ja eristuda sellega teistest. Üheks variandiks on pinnaprint puidule.

Pinnaprint annab võimaluse dekoreerida elukondlikke ja ühiskasutatavaid ruume. Seda kasutatakse nii mööblidetailidel kui ka sisekujunduses printides erinevaid pilte ja mustreid. On võimalus trükkida erinevatele alusmaterjalidele: betoon, klaas, puit, plastik, papp ja laminaatparkett. Kiiresti arenev tehnoloogia selles valdkonnas loob rohkem võimalusi printida vastavalt kliendi vajadustele ehk on võimalik pakkuda täpselt tema soovidele vastavat pinnaprinditud toodet.

Antud tehnoloogiaga saab tutvuda Võrumaa Kutsehariduskeskuse Puidu- ja Mööblitootmise kompetentsikeskuses Tsenter. Tsenter on Kutsehariduskeskuse struktuuriüksus ning spetsialiseerunud mööblitootmise kompetentside arendamisele ja selle edasi andmisele. Tsentris on võimalik ettevõtjal läbi viia erinevaid katseid ning kasutada sealseid seadmeid enda toodete täiendamiseks. Ühe võimalusena saab klient kasutada pinnaprinti. Tulenevalt tehnoloogia arengust ning võimalusest pinnaprinti järjest rohkem kasutada mööbli- ja puitdetailide dekoreerimisel on tarbijad hakanud selle vastu ühe rohkem huvi tundma. Lähtuvalt sellest on hakanud Tsenter katsetama pinnaprindi püsivust ekstreemtingimustes nagu niiskus, kuumus ja päikesevalgus. Seda kõike, et leida uusi võimalusi kasutamaks pinnaprinti laialdasemalt.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida pinnaprindi muutusi kahes saunakeskkonnas, et anda garantii ja referentsi prinditud pinna vastupidavuses ja säilivuses, juhul kui tekkinud muutused on rahuldavad koostöösse kaasatud osapooltele. Antud magistritööga on seotud Tsenter, Eesti Maaülikool ja Thermory AS Reola tehas Tartumaal, mis toodab saunasi. Sellest tulenevalt on Thermory AS huvitatud magistritöö tulemustest, et kasutada pinnaprinti saunade dekoreerimisel. Thermory toetas selle jaoks uurimustööd termiliselt töödeldud haavapuiduga,

sest ettevõtte esindaja sõnul on termiliselt töödeldud haab peamine materjal, mida kliendid soovivad enda sauna.

Uurimustöös määrati saunakeskkondadeks soome saunaga (100 kraadi ja 5% niiskust) ning vene saunaga (80 kraadi koos 40% niiskusega) sarnanev keskkond. Need tingimused loodi Eesti Maaülikooli puidulabori kliimakappides, kus pinnaprinditud katsekehi hoiti 40 päeva. Katsekehade pindadele prinditi 6 erineva tooniga värvigammad. Katsete käigus kasutati pinnaprindi muutuste analüüsiks kolme tüüpi meetodeid: pinnaprinditud värvide koloriitsuse muutuste mõõtmised spektrofotomeetriga, pindade läike mõõtmine läikemõõtjaga ja pinnaprindi adhesiooni hindamine ristlõikekatsetega.

Töö esimeses osas antakse ülevaade termiliselt töödeldud puidu olemusele ja termotöötlusviisidele. Selgitatakse lähemalt pinnaprindi olemust ja tutvustatakse sellega seonduvat tehnoloogiat ning vahendeid. Lisaks sellele on antud selgitav ülevaade CIElab värviruumist. Töö teises osas on esitatud läbiviidud katsete metoodika ja katsemasinate kirjeldus. Kolmandas osas antakse ülevaade katsetulemustest.

Täna Eesti Maaülikooli esindust võimaldamaks kasutada puidulaborit. Thermoy AS avaldan tänu katsematerjaliga varustamise eest ja Tsentrile katseseadmete eest.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

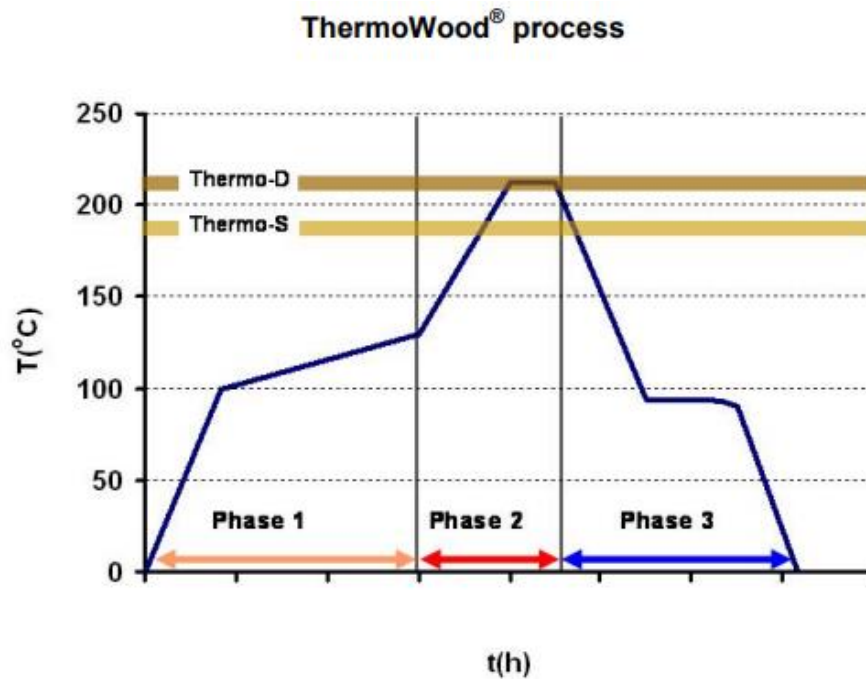
## 1.1. Termiliselt töödeldud puidu olemus

Termiliselt töödeldud puit on Euroopa standardi CEN/TS 15679:2007 järgi puit, mida on töödeldud üle 160 °C kraadises vähendatud hapnikuga keskkonnas, mille tulemusel muutuvad puidu omadused kogu ristlõikes [23]. Näide temperatuuri ja aja seosest puidu termiliselt töötlemisel on välja toodud joonisel 1.1. [4]

Termiline töötlemine mõjutab oluliselt puidu omadusi: näiteks hügroskoopsus ja mõõtmete stabiilsus, vastupidavus seentele ja puidukahjuritele, mehaanilised omadused ning ka sellised omadused nagu värvus, lõhn, liimitavus ja kattekihi jõudlus. Puidu massi kadu on tavaline omadus termilise töötlemise käigus. Massi kadu on kuni 20%, olenevalt protsessi tüübist. Paljud termiliselt töödeldud puidu omadused tulenevad samuti toormaterjalist ja termilise töötlemise intensiivsusest [3]. Märkimisväärne mõju on samuti OH-rühmade (hüdrosüülrühmade) arvu selge vähenemine [2].

Oluline muutus puidus peale termilist töötlust on ka vastupanu seenhaiguste vastu. Töödeldud puitu saab kasutada kohtades, kus on kõrge risk seenhaigustele. Kuid oluline faktor on ka maltspuidu ja lülipuidu vahel. Et maltspuidu vastupidavus suureneb peale töötlust, on see siiski madalam kui lülipuul. See on oluline puiduliikide puhul, mis sisaldavad suurel hulgal maltspuitu. Nagu harilik mänd (*Pinus sylvestris*) ja harilik ebatsuuga (*Pseudotsuga menziesii*) [1].





**Joonis 1.1.** Termilise töötuse ülevaade [4].

### Värvus

Pruun värv võib piirata ja soodustada termiliselt töödeldud puidu kasutamist. Tüüpiline puidusüü ja tekstuur on peale töötlust nähtav, mõnel juhul isegi rõhutatud [1].

### Lõhn

Vahetult pärast termilist töötlust on puidul iseloomulik lõhn, mis väheneb mõne päeva möödudes ja on peaaegu kadunud mõne kuu pärast. Lihvides termiliselt töödeldud puitu, tuleb lõhn jälle esile [1].

### Murenemine ja UV- vastupidavus

Puidu pinnal tekib erosioon päikese, tuule ja vihma tõttu. See ei mõjuta puidu vastupidavust, aga puidu pind muutub aja jooksul halliks. Selline värvimuutus on ilmsem termiliselt töödeldud puidu puhul kui töötlemata, kuna töödeldud puit on tumepruun enne murenemist [1].

## **Värvimisvõimalused**

Termiliselt töödeldud puidu pinda on võimalik värvida esteetilistel põhjustel ja samuti erosiooni ennetada. Termiline töötlus võib mõjutada värvi nakkumist ja läbitungimist. Töödeldud puit on hüdrofoobsem kui töötlemata puit, seega veepõhiste värvide kilekihi kuivatamiseks võib kuluda rohkem aega. Seetõttu on soovitatav kasutada kahte õhuksest kilekihti ühe paksu kilekihi asemel (nt. kaks kuiva kilekihti 40 µm ühe kuiva 80 µm asemel). Vajadusel saab pindpinevust reguleerida lisades värvi lisaaineid. Töödeldud puitu saab värvida orgaaniliste lahusti baasil värvidega, näiteks alküüdidega ja tavaliselt kasutusel olevate peitside ja õlidega. Ei ole soovitatav kasutada läbipaistvat kilet moodustavat katet, sest kilekihi all võib toimuda murenemine, mida soodustavad ilmastikutingimused. Kui töödeldud puidu pinda viimistletakse läbipaistvat kilet tekitatava ainega, siis on soovitatav kasutada UV- vastase toimega ainet ja puidukaitsevahendit seenhaiguste vastu [1].

## **Liimimisomadused**

Termotöötlus mõjutab puidu liimimist. Paranenud puidu stabiilsus annab positiivse efekti liimimise omadustele. Näiteks kahe laminaadi või sõrmjätkatud tapi liimühenduse pinged vähenevad. Sellised pinged võivad tekkida, kui puidus on niiskussisalduse muutused, mille tulemusel puit kas tõmbub kokku või paisub. Teisest küljest võib termotöötlus kaasa tuua ka mõned puudused liimimisel. Praegu kasutusel olevad liimained on veepõhised süsteemid (emulsioonid ja dispersioonid). Vee sisaldus on nendel liimainetel 50-60% ja oluline osa niiskusest imendub puidu pinnal liimi kõvenemise ajal. Kuna termotöödeldud puit imab vähem niiksust kui töötlemata puit, siis see pikendab liimi kõvenemise aega, mis omakorda mõjutab ka liimühenduse kvaliteeti [1].

## **1.2. Termiliselt töödeldud puidu kasutusvaldkonnad**

Termiliselt töödeldud puit leiab suurt rakendust välitingimustes, kasutades seda välisvoodrilauana, terrassilauana ja samuti aiamööbli ning aknaraamide ehitusel. Samas leitakse kasutust sellele ka siseruumides nagu köögmööbel, parkett, dekoratiivpaneelid ja peamiselt sauna interjööriina [32].

Rootsis viidud katsete tulemusel on välja selgitatud, et termiliselt töödeldud puitu ei ole otstarbekas kasutada kandvates konstruktsioonelementides, sest puidu tugevus töötlusel väheneb kuni 50% [33].

### **1.3. Termilise töötluste olemus**

Puidu termiline töötlus hõlmab niiskuse ja temperatuuri kombinatsiooni. Puit kuivatatakse kõrgetel temperatuuridel. Tulemus sõltub sellest, kas protsess on avatud või suletud. Mõlemas protsessis on võimalik kõiki parameetreid kontrollida ja muuta kogu töötluste käigus [5].

Töötlusprotsessid on enamikel juhtudel kas vaakumis, õhus või lämmastikus. Eelsoojendatud õli võib samuti kasutada, sel juhul toimib õli soojusülekanajana, lisaks väljutab ka puidust hapniku [5].

Üldiselt nimetatakse õhuta kuumutamist pürolüüsiks, nt. puusöe tootmine suletud süsteemis. Termiline töötlus õhu juurdepääsuga nimetatakse põlemiseks, kus põlemine võib olla täielik või mitte täielik (söestunud pind) [5].

Peamiselt on viis erinevat kaubanduslikku termilise töötluste protsessi. Soomes on Thermowood, Hollandis on Plato Wood, Saksamaal on OHT- Oil Heat Treatment ja kaks protsessi on Prantsusmaal: Bois Perdure, Rectification. Kõikides protsessides kasutatakse saematerjali ja töötlusprotsessi temperatuuri vahemikus 160 °C kuni 260 °C, kuid nad erinevad omavahel selle poolest, et kasutatakse erinevaid töötlusprotsesse ja parameetreid. Nendeks on erinevate töötlusgaaside olemasolu, niisked või kuivad protsessid ning õlide kasutamine [6].

#### **ThermoWood protsess**

Selle protsessis kuumutatakse puitmaterjal etappide kaupa temperatuurini 215 °C, samal ajal ühtlustades materjali veeauruga, et töödeldav materjal ei süttiks põlema. Peale kaitse mõjutab aur ka keemilisi muutusi puidus.

Esimeses etapis tõstetakse kuivati temperatuur 100 °C, sellest järgnevalt tõstetakse temperatuur 130 °C, mille jooksul langeb puidu niiskussisaldus absoluutkuivani [4].

Teises faasis algab termiline töötlus, kus temperatuur tõuseb 180-215 °C. Olenevalt materjali lõppkasutusest, hoitakse temperatuuri 2-3 tundi [4].

Kolmandas faasis alandatakse temperatuuri kasutades selleks veepihustussüsteemi; kui temperatuur on langenud 80-90 °C, toimub uuesti niisutamine, kus puidu niiskussisaldus tõuseb 4-7% [4].

## **Thermory**

Eestis tegutsevas Thermory Reola tehases töödeldakse puitu *WTT* meetodit kasutades. *WTT* meetod on välja aretatud Taani firma *The Danish Wood Treating Company* poolt.

Kuna antud magistritöös on katsekehadeks kasutatud Thermory Reola poolt toodetud termiliselt töödeldud haaba, siis sellest tulenevalt kirjeldatakse termilist töötlust haavapuidule. Antud meetod on suletud süsteem. Autoklaavi kamber on 12 meetrit pikk, mis mahutab 10 m<sup>3</sup> korraga (joonis 1.2.). Esimeses faasis tõmmatakse õhk kambrist välja seejärel tekitatakse vaakum. Kambrisse lastakse veeauru ja tekitatakse relatiivse niiskusega aurukeskkond, mis vahendab temperatuuri kambri seinast töödeldava materjali pooridesse. Sellise keskkonna eelis on töödeldava materjali niiskena hoidmine. Ilma niiskusega toimuks termilise töötluste käigus ka materjali kiire kuivatus, mis tekitaks materjalis pingeid ja siselõhesi. Vaakum suletud süsteemis hoiab materjalis oleva vee keemispunkti madalana.

Töötlusse minev materjal omab 8-10% niiskust ja peale töötlust on materjali niiskus 8%. Töötlusprotsess kestab 160 °C juures 12 tundi.



**Joonis 1.2.** WTT autoklaav. [26]

## **1.4. Pinnatrükk ja selle tehnoloogia**

Pinnatrükk on tehnoloogia, kus prinditakse puitpaneelidele, mööblidetailidele või põrandalaudadele kõrgekvaliteedilised ja kõrge resolutsiooniga värvilised ja mustvalged pildid. Samuti on võimalik digitaalprindi abil printida odavatele puitpaneelidele eksootiliste puiduliikide tekstuure. Durst U.S. äriarenduse juht Roy Pagan kommenteerib, et tänapäeval on sunnitud paljud firmad ostma puidu tekstuuriga laminaate, et neid tootluses kasutada, kuid nendest jääb palju jääki alles. See-eest annab pinnatrükk võimaluse erinevatele plaatmaterjalidele printida puitu imiteerivad dekoorid väikeste kuludega, samuti vähese tööjõukuluga [9].

Pinnatrüki abil on võimalik puit- ja puidupõhiste toodete tootjatel erineda konkurentsist, pakkudes kliendile vastavalt dekoratiivseid lahendusi. Dekoratiivsed aspektid mööblil omavad tänapäeval suurt rolli efektiivseks turustamiseks ja müügiks. Uuringud on näidanud, et 30% tänapäeva klientidest soovivad personaliseeritud toote pakkumist. Walcher annab hinnangu sellel teemal, et valmistada toode vastavalt kliendi vajadustele ja massiline kohandamine on võtmelemendid 50% kõikidest ärimudelitest [10].

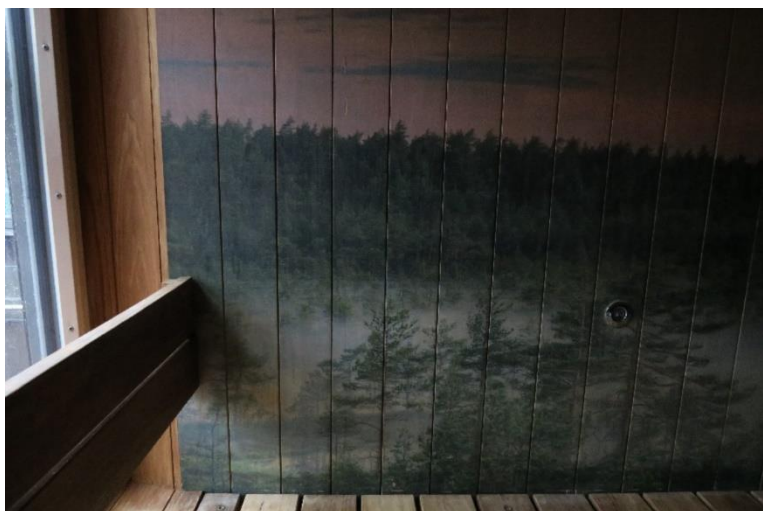
### **1.4.1. Tartu Vspa pinnatrükitud sauna sisevoodrilauad**

Eestisse tekkisid esimesed puidule printimise seadmed 7-8 aastat tagasi Tsentri esindaja sõnul. Esimesed printerid olid väikesed ja neid kasutati väiksemate toodete pindadele printimisel. Võimalused olid kitsad ja seega ei olnud pinnaprindil suurt populaarsust. Viimasel kuuel aastal on prindi populaarsus tõusnud, sest turul on suuremad sedamed, mis võimaldavad pinnaprinti teostada suuremmõõtmeliste toodetele. Sellest lähtuvalt on klientidel rohkem huvi tekkinud, et pinnaprindi teenust kasutada. Sarnaselt sellele tegi ka Vspa 2019 aastal Tsentrilt tellimuse, et printida sauna sisevoodrilauale. Paraku ei olnud Tsenter varem sellistesse tingimustesse pinnaprinti teostanud, seega ei olnud anda garantiid tehtud prindile kuumas ja niiskes keskkonnas. Risk, et pinnaprint saab kuumuse käes kahjustada, oli olemas.

Tartu Vspas olevat pinnaprinditud leilisauna sisevoodrilauad on näidatud joonisel 1.3. Vspa tehnikajuht Tarvo Klais kommenteerib, et kahe aastaga on sein muutunud tumedamaks kui ta

algselt oli. Selle põhjust ta ei tea täpselt öelda, kuid on arvamusel, et puit aluspinnana tindile on muutunud tumedamaks. Et tindiga pole midagi juhtunud. Seina ehitusel pole jäänud ka ühtki detaili üle, millega võrrelda hetkelist olukorda. Kuid on näha, et kuni viiel voodrilaual on tekkinud lõhed ja puidukiudude ülestõus (joonis. 1.4.).

Tehnikajuhi sõnul on leilisauna temperatuur kuni 110 °C ja niiskus 5-10%.



**Joonis 1.3.** Tartu Vspa leilisauna sein.



**Joonis 1.4.** Puidu lõhenemine ja kiudude ülestõus.

2021. aastal paigaldati Vspa aroomisauna uued haavapuidust sisevoodrilauad, millele on prinditud Tartu panoraamvõte (joonis. 1.5, 1.6.).



**Joonis 1.5.** Taru Vspa aroomisauna sein.



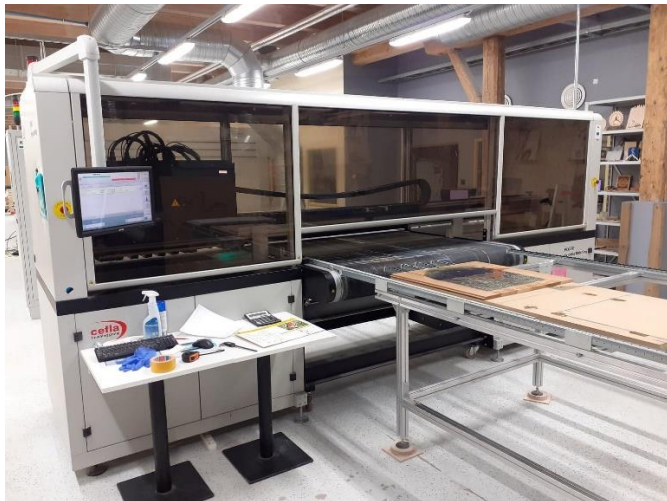
**Joonis 1.6.** Lähivaade aroomisauna seinast.

Sauna ehitusel säilitatakse antud seinast prinditud detailid, et tulevikus tekiks võrdlemise võimalus.



### 1.4.2. Pinnatrükimasina olemus

Antud magistritöös kasutatakse pinnatrükimasinat Pixart Plot16, mis asub kompetentsikeskuses TSEENTER. Joonisel 1.7. on esitatud kirjeldatav pinnatrükimasin.



**Joonis 1.7.** Pixart Plot16.

Konveierlindi abil toimub töödeldavate detailide kontrollitud etteanne, millele saavad printeripead värvi pihustada. Printeripead saavad liikuda x-telje ja z-telje suunaliselt, samal ajal liigub konveierlint y-telje suunaliselt. UV-lambid on monteeritud printeripea külge, mõlemale poole üks. Koheselt peale tindi kandumist kõvendab UV-lamp selle ära. Antud pinnatrükimasina printeripead (joonis 1.8.) on toodetud Rootsis Xaar'i tehases, mis pihustavad UV kõvenevaid akrüültinte. Masin on loodud kasutama 4 tinti, mis põhinevad CMYK-värvimudelil; C-tsüaan (sinine), M-magenta (punane), Y-kollane ja K-must. See on neljavärvitrükis kasutatav värvimudel, mis põhineb purpurvärvide (subtraktiivsel) segunemisel [11].





**Joonis 1.8.** Printeripead.

Printeripead prindivad materjalist 1mm kõrgusel, et saavutada kvaliteetne pinnaprint, seetõttu peab materjal olema tasapinnaline. Joonisel 1.9. on esitatud näide, kus on kinnitatud sisevoodrilauad alusplaadile, et vältida võimalikku kaardumist. Samuti omab materjali tasapinnalisus suurt tähtsust printimise kvaliteedile, sest iga materjali nõgusus halvendab prindi kvaliteeti. Mida kõrgemalt pihustada tinti materjalile, seda hägusamalt on printi näha. On võimalik ka konveierlindi vaakumit kasutada, et materjali kinni hoida, kuid antud printeri puhul selle järgi ühendatud vaakumpumbad jäävad nõrgaks ka 3mm vineeri kinni hoidmisel.

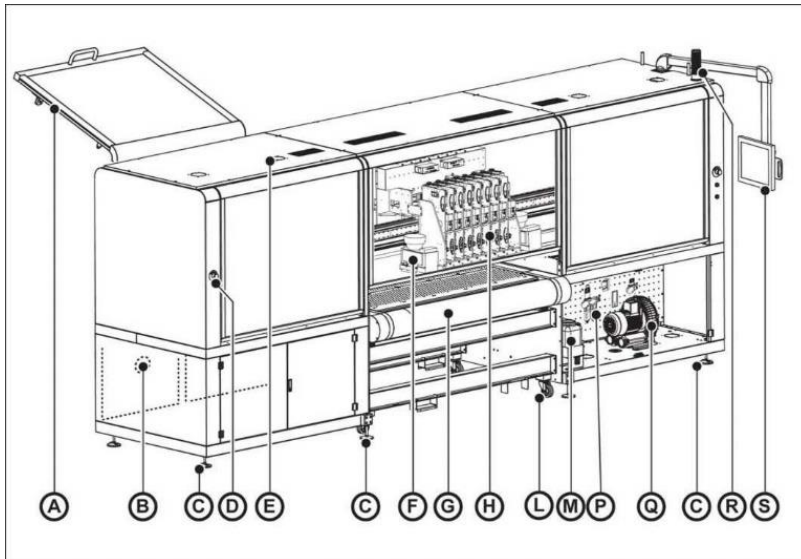
Et alustada printimist, tuleb printeriga ühendatud arvutis soovitud failid konverteerida printerile vastavalt. Programm PS9 Ultimate- Color Scan UV abil tuleb PDF ja JPG failid konverteerida RGB failiks, mida loeb printer. Programm arvutab protsentuaalselt värvikogused, mida printimisel vaja läheb. Lisaks sellele on programmi valikutes erinevad alusmaterjalid, mille järgi on võimalik arvestada tooni ja kontrasti.



**Joonis 1.9.** Alusplaadile kruviga kinnitatud sisevoodrilaud.

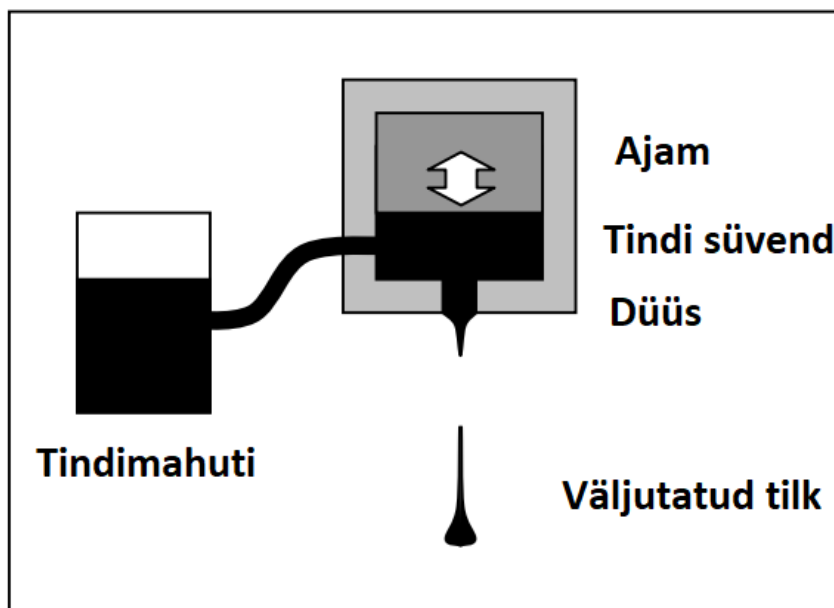
Pixart Plot16 pinnatrükimasina osad on toodud välja joonisel 1.10. [13]:

- A. Liikuvad piirded, asuvad masina ees ja taga;
- B. Pealüliti;
- C. Loodimise jalad: 4 tugijalga põhisõlme korpuse reguleerimiseks ja 2 küljalga igale korpusele.
- D. Avariiseiskamise nupud;
- E. Jahutusventilaatorid;
- F. UV lambid printimise kuivatamiseks;
- G. Prinditava materjali transportimise lint. See võib olla kas sile või aukudega;
- H. Printimise pead, standard või moodul;
- L. Lokaalsed positsioneerimise rattad (neid ei kasutata transportimiseks);
- M. Tindi ülejäägi tank või konteiner;
- P. Pneumosüsteem;
- Q. Hõrendust tekitav ventilaator või vaakumpump (aukudega lindile);
- R. Töötamise ja programmeerimise puutekraan.



**Joonis 1.10.** Pixart Plot16 [12].





**Joonis 1.12.** *Drop-on-demand* pihustussüsteemi skeem [8].

#### 1.4.4. UV- kõvenevad akrüültindid

Nimetatud tindid koosnevad neljast komponendist: monomeerist, oligomeerist, pigmendist ja fotoinitsiaatorist.

Monomeerid tagavad tindi ehitusploki ja võivad anda teatud omadusi nagu tindi pehmus ja kõvadus. Samuti anda tindile paindlikkuse ja pikenemisomadused erinevat tüüpi rakenduste jaoks. Lisaks sellele aitab monomeeride sisaldus kontrollida tindi viskoossust, mis on hädavajalik printimiskindluse tagamiseks.

Tindis leiduvad oligomeerid sisaldavad reaktiivseid vaike ja unikaalselt formuleeritud liimikomponente, et printida konkreetsetele substraatidele.

Pigmentid tagavad värvi. Kuid pigmendi hajuvus on UV-tindi koostise kriitiline komponent, kuna pigmendi osakesed peavad iga nanoosakese värvi täielikuks väljaarendamiseks olema alla 200 nanomeetri (inimese juuksekarva diameetrist väiksem), et printeripea düüsist väljuks tinditilk ilma probleemideta välja. Liiga suured osakesed kahjustaksid printimise täpsust, mille tulemuseks oleks vastuvõetamatu printikvaliteet. Põhimõtteliselt peavad kõik tindiprinteri tindid, olgu need siis UV- või vesilahused, olema nano suurusega, et need oleksid

usaldusväärselt prinditavad ja tagaksid täpse tilkade paigutuse printimiskvaliteedi optimeerimiseks.

Kui fotoinitsiaatorid puutuvad kokku UV- kiirgusega, siis oligomeerid ja monomeerid ristsiduvad või polümeriseeruvad. Nii et erinevalt veepõhistest tintidest pole tahkestamiseks vaja soojust ega õhku kõvendamiseks. Kuid isegi fotoinitsiaatorid tuleb häälestada konkreetse UV- valguse lainepikkusele, nii et kõvenemist saab saavutada UV- või LED-UV- lampide abil [19].

## 1.5. CIELab värviruum

Aastal 1931, töötati välja CIE (Rahvusvaheline valgustuskomisjon) värvusdiagramm, et määratleda värvi määratletud XYZ ruumis, tuginedes lainepikkuste jaotuse kvantifitseerimisele. CIELab määratleb teatud värvitooni ruumis, kasutades selleks kolme koordinaati: L\* koordinaat Z-teljel vastab väärtusele ja on seotud valgusega, a\* koordinaat vastab punaselt rohelisele liikumisele ja b\* koordinaat vastab kollaselt sinisele liikumisele [14]. Delta E ( $\Delta E$ ) kasutatakse kahe antud värvi visuaalse tajumise muutuse mõõduna. Delta E on mõõdik, et aru saada, kuidas inimene tajub värvi erinevust [20, 21]. Delta E leitakse valemi 1.1. [15] abil järgnevalt:

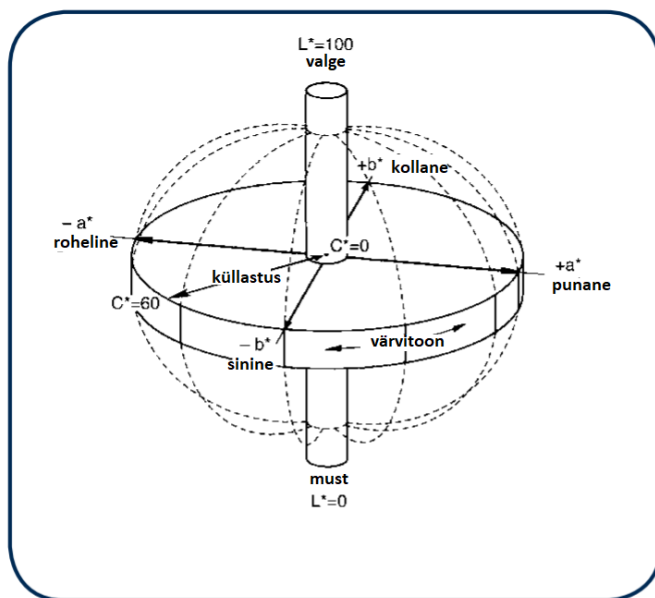
$$\Delta E = ((L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2)^{1/2} \quad (1.1.)$$

- a\* koordinaat loetakse vasakult paremale. Värvuse muutus teljel +a suunal kujutab liikumist punase värvuse poole ja -a suunal rohelise värvuse poole. Skaala väärtuste vahemik on -100 kuni +100.
- b\* koordinaat loetakse järgmiselt: +b suunas liikumine mööda telge näitab värvuse muutust kollase värvuse poole ja -b suunal näitab sinise värvuse muutust. Skaala väärtuste vahemik on -100 kuni +100.
- L\* koordinaat näitab, et kui L = 0 on tumedus maksimaalne või on toimunud täielik neeldumine.

- Skaala täielikus keskmes on neutraalne või hall [16]. Joonisel 1.13. on näidatud nimetatud telgede asetust.

CIELab värviruumi süsteemi meetodikal on uurinud värvi muutusi ja avaldanud uurimustöös Jianfeng Xu jt. aastal 2019. Selle uurimustöö käigus lisati tsinkoksiidi UV- kõvenevatele poliüuretaanakrüültintidele. Kasutati 4 erinevat tinti, mis prinditi kasepuidu pinnale. Kolmele tindile lisati tsinkoksiidi vastavalt erinevates kogustes ja üks tint jäi modifitseerimata. Katsekehadele tehti UV kiirenevat vananemistesti. Katsekehad võeti iga 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 48, 72, 96, 120, 144 ja 168 tunni tagant välja, et mõõta värvi koloriitsust, kasutades selleks CR-400 kromomeetrit. CIELab süsteemi kasutati, et hinnata värvi muutust, arvutades selleks  $\Delta E$ . Lääkemõõtjat WGG-60 kasutati läike muutuste analüüsiks [20].

Tulemustes kajastub, et tsinkoksiidi lisamisel on värvi muutused väiksemad kui originaaltindil, sest tsinkoksiid annab poliüuretaantindile vastupanu UV- valgusele. Samuti paranesid ka läike muutused tintidel, millele oli lisatud tsinkoksiidi. Lääke kaotused olid väiksemad kui segamata tindil [20].



**Joonis 1.13.** Värvitoonide skeem CIELab koordinaadistikus [17]

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1. Katsekehad

Antud töös kasutati katsekehade valmistamiseks haavapuitu, mida töödeldi autoklaavis Thermory AS poolt termiliselt 160 kraadilises keskkonnas 12 tundi. Tsentris saeti katsekehad mõõtu 136×136×27. Peale saagimist prinditi katsekehadele värvigammad kasutades Pixart Plot16 pinnatrükimasinat (joonis 2.1.).

Katsekehi tehti kokku 140, mille liigitus ja kirjeldus on esitatud tabelis 2.1.



**Joonis 2.1.** Prinditud värvigammadega katsekehad.

Värvigamma läbimõõt on 120mm, mis on jagatud kuueks sektoriks. Iga sektor on oma värvi: kollane on number 1 ja liikudes päripäeva on tõusevad numbrid vastavalt 2, 3, 4, 5, 6.

Katse number 1. keskkond on 40 päeva 100 °C ja 5% niiskust, nimetades soome saunaks.

Katse number 2. keskkond on 40 päeva 80 °C ja 40% niiskust, nimetades vene saunaks.

**Tabel 2.1.** Katekehade liigitus ja kirjeldus

Katsekehade arv (tk)	Katsekeha tähis	Katse parameetrid	Mõõtmine	Mõõtmise intervall
50	S1...S50	40 päeva 100 °C ja 5% niiskus	Koloriitsus	10 päeva tagant
50	V1...V50	40 päeva 80 °C ja 40% niiskus	Koloriitsus	10 päeva tagant
15	LS1...LS15	30 päeva 100 °C ja 5% niiskus	Läige	10 päeva tagant
15	LV1...LV15	30 päeva 80 °C ja 40% niiskus	Läige	10 päeva tagant
5	AS1...AS5	30 päeva 100 °C ja 5% niiskus	Adhesioon	10 päeva tagant
5	AV1...AV5	30 päeva 80 °C ja 40% niiskus	Adhesioon	10 päeva tagant



## 2.2. Katsed kliimakappides

Katsekehade testimised viidi läbi Eesti Maaülikooli puidulaboris, kus neid hoiti vastavatel parameetritel standardi ÖNORM M 6219-1:2016-11 järgi [18]. Katsete number 1. ja number 2. parameetrid on leitavad eelolevas tabelis 2.1. Värvide koloriitsuse mõõtmiseks kestis tsükkel 40 päeva, kus iga 10 päeva tagant tehti kontrollmõõtmised. Värvide läike mõõtmiseks ja ristlõikekatse jaoks kestis tsükkel 30 päeva, kus iga 10 päeva tagant tehti kontrollmõõtmised. Joonisel 2.2. on näidatud kliimakappidesse asetatud katsekehad.



**Joonis 2.2.** Katsekehad kliimakappides. Vasakul Memmert ULE 500 ja paremal Memmert CTC256.

### 2.3. Katsekehade fotografeerimine

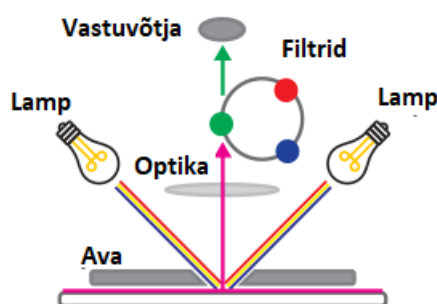
Antud uurimustöö läbiviimiseks kasutati Tsentri poolt valguskappi ja statiivi koos fotoaparaadi Canon G7X. kasutati katsekehade fotografeerimiseks valguskappi, millel oli seadistatud valgus D65 ja fotoaparaati Canon G7X (joonis 2.3.).



**Joonis 2.3.** Katsekehade fotografeerimine.

## 2.4. Koloriitsuse mõõtmine

Katsekehade värvispektri muutusi mõõdeti spektrofotomeetri Lovibond RT530 abil (joonis 2.5.). Mõõtmised tehti D65 valgusega 10° kraadi all. ISO/CIE 11664-4:2019 järgi. Spektrofotomeeter annab numbrilised tulemused CIElab värvikoordinaadistikus, millest on kirjutatud antud uurimustöös alapeatükis 1.5. Spektrofotomeetri põhimõtet iseloomustab joonis 2.4.



**Joonis 2.4.** Skeem spektrofotomeetri põhimõttest [29].

Katsemasin mõõdab kahe erineva meetodi SCE ja SCI muutujat. SCE meetodis on välja jäetud suundpeegeldustegur ja mõõtmisel arvestatakse hajuvat peegeldust. Selles meetodis antakse värvile hinnang, kuidas vaatleja (inimsilm) näeks teatud objekti värvi. Näiliselt asub objekt ruumis, kus otse objektile ei paista mingi valgusallikas. Kasutades SCI meetodit, võetakse värvi mõõtmisel arvesse suundpeegeldustegur koos hajuva peegeldusega. Sellist tüüpi hinnang antakse sõltumata pinnatüübist, kus hinnatakse kogu välimust [24], [25]. Antud uurimustöös kasutati SCE meetodit, sest see kirjeldab kõige ligilähedasemalt vaatleja (tellija) poolt nähtud värvide muutusi, et anda pinnaprindi tellijale garantii antud värvimuutuste kohta sauna keskkonnas. Mõõdetud muutujad  $L^*a^*b^*$  salvestas programm nimega OnColor. Andmete kogumiseks ja  $\Delta E$  arvutamiseks kasutati Microsoft Excel tarkvara.

Antud seade kalibreeriti iga kord enne katsekehade mõõtmist. Spektrofotomeetriga mõõtmisel lähtuti katsekehade värvispektrite kindlatest aladest. Joonisel 2.4. on näidatud mõõtmisala iga sektori puhul, kus mõõteriista alusplaadi keskmine ring (mõõtmisala) jääb sektori mõlemast servast 1mm kaugusele.



**Joonis 2.4.** Mõõtmisala.



**Joonis 2.5.** Lovibond RT530.

$\Delta E$  arvutatud tulemuste võrdluseks on koostatud tabel 2.2. Selle abil saab määrata värvitoonide visuaalseid muutusi, mida näeks inimene.

**Tabel 2.2.** Delta E võrdlustabel [27]

Värvi muutus ( $\Delta E^*$ )	Klassifikatsioon
0,0-0,5	Mittearvestatav
0,5-1,5	Kergelt tajutav
1,5-3,0	Märkimisväärne
3,0-6,0	Tunduv, märgatav
6,0-12,0	Väga märgatav

## 2.5. Läike mõõtmine

Prinditud värvide läike erinevuste mõõtmisel kasutati läikemõõtjat Zenther-Glossmeter ZGM 1110 standardi EVS-EN 13722:2004 [21] järgi. Antud töös soovitakse teada saada, kas läige tuhmub 40 päeva jooksul või mitte. Katsekehadelt mõõdeti läiget 4 erinevat punktist lilla ja kollase värvuse pealt, asetades läikemõõtja katsekehale pikikiudu, nagu näidatud joonisel 2.6. ja 2.7. Läikemõõtja mõõtmistulemused mõõdeti 60 kraadi alt ja läike muutujaks on *gloss unit* (läike ühik).



Jooniss 2.6. Läikemõõtja asetused mõõtmisel.

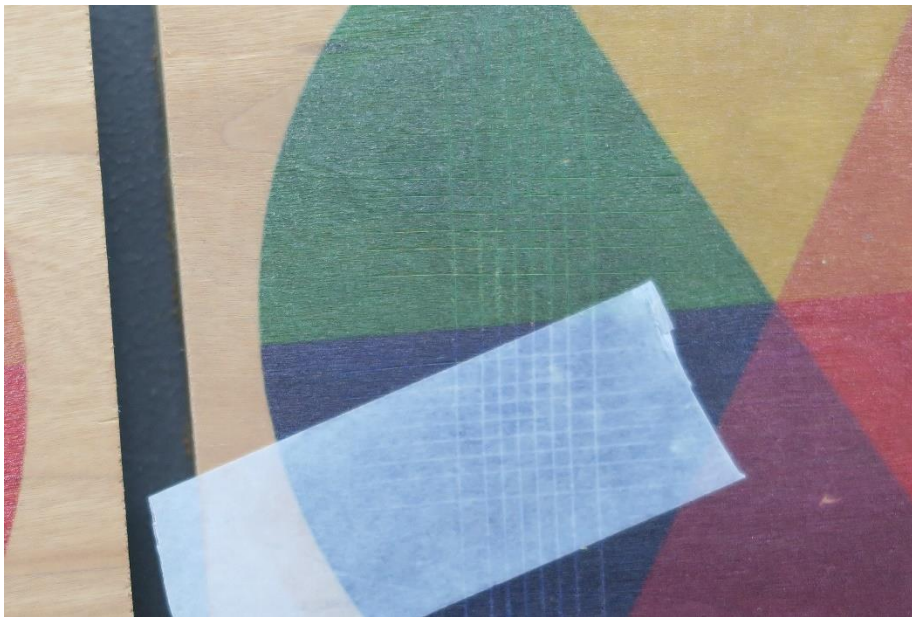


Joonis 2.7. Läikemõõtja asetused.



## 2.6. Ristlõikekatse

Värvigammade adhesiooni testimiseks kasutati seadet Zehntner ZCC 2087 ristlõike testrit standardi DIN EN ISO 2409 [22] järgi, mille hindamistabel on toodud välja Lisa 1 [28]. Katsekehadele tehti iga 10 päeva tagant kaks adhesioonitesti. Risti olevad lõikepinnad harjati adhesioonist lahti tulnud materjalist ja seejärel kleebiti diagonaali teip nimetusega ACC753 (joonis 2.8.). Peale teibi ära tõmbamist hinnati visuaalselt tindi adhesiooni seadmega kaasas oleva juhendi järgi.



**Joonis 2.8.** Adhesiooni teip kleebitult.

## **2.7. Katseandmete analüüs**

Katsekehade koloriitsuse mõõtmisel koguti mõõtmisandmed programmi Microsoft Excel. Programmis sorteeriti värvide parameetrid ja arvutati aritmeetilised keskmised iga mõõtmiskorra kohta. Nende põhjal koostati graafikud, mille x- telg iseloomustab katseks kulunud aega ja y- telg värvi muutust. Graafikute põhjal koostati regressioonivalemid, mille kordajad koondati tabelisse.

Värvi läike mõõtmisandmed ja ristlõikekatse visuaalsed hinnangud koguti programmi Microsoft Excel. Läike mõõtmisandmete põhjal koostati graafik, mille x- telg iseloomustab katseks kulunud aega ja y- telg läike muutust. Ristlõikekatse visuaalsed hinnangud standardi järgi koguti kokku tabelisse. Andmete põhjal koostati tabelid, kus on igale mõõtmiskorrale vastavad muutused.

### 3. TULEMUSED

Tulenevalt kahest erinevast sauna keskkonnast, uuriti pinnaprindi muutusi kolme erineva meetodiga. Esiteks uuriti koloriitsuse muutusi CIELab süsteemis, teiseks mõõdeti katsekehade läike muutusi ja kolmandaks tehti ristlõikekatsed.

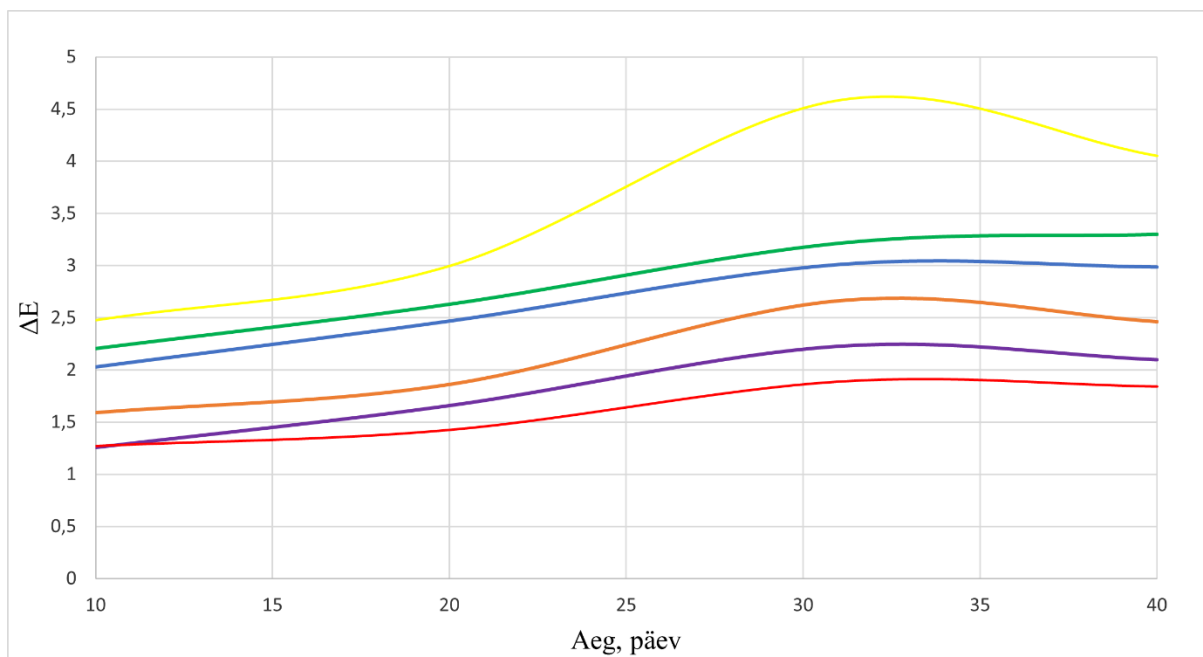
#### 3.1. Soome saunakeskkonna koloriitsuse muutused katsekehadel

Võrdluseks on välja toodud kuus katsekeha joonisel 3.1. Üleval asetsevad katsekehad, mida ei pandud kliimakappi ja allpool on katsekehad, mida katsetati esimeses katses. Visuaalselt ei ole märgata värvides muutusi, kuid katsetulemused, mis tõlgendati tabel 2.2. järgi, näitavad värvi muutusi.



**Joonis 3.1.** Katsetamata katsekehad ja esimese katse läbinud katsekehad.



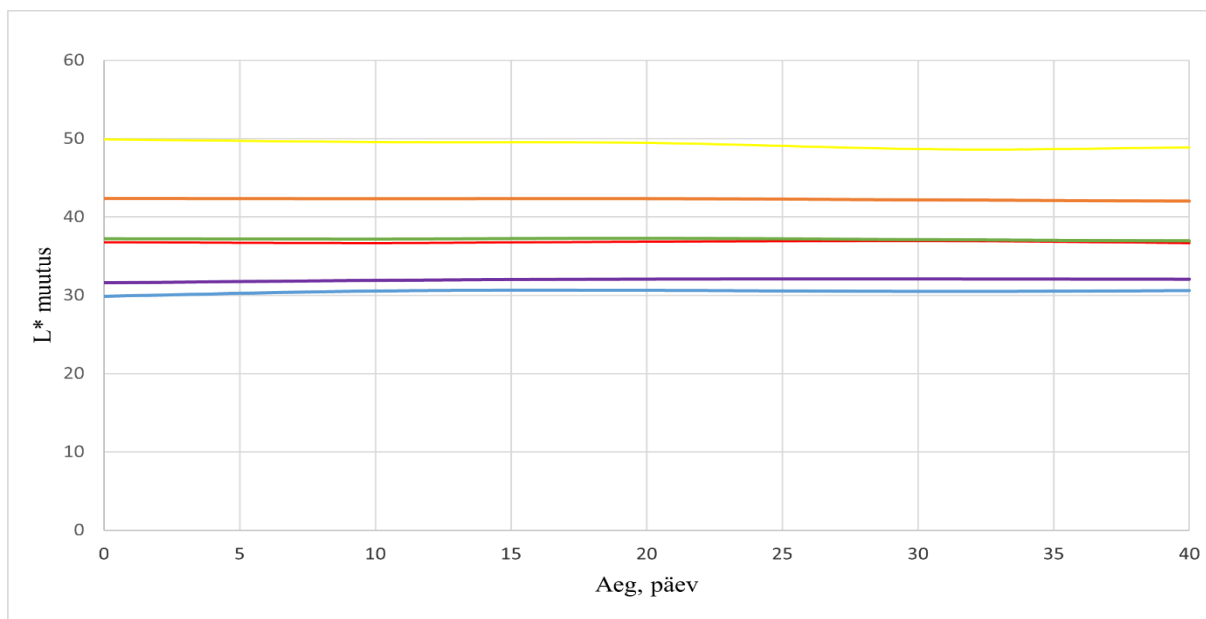


**Joonis 3.2.** ΔE aritmeetiliste keskmiste väärtused ajas. Esimene katse.

Värvide muutused ajas on välja toodud joonisel 3.2. ja tabelis 3.1. Tuginedes metoodika peatükis esitletud ΔE võrdlustabelile, toimus märgatav muutus kollasel värvil 25- 35 päeva kestel, kus ΔE keskmiseks väärtuseks oli 4,584 ühikut. Katse lõpuks oli see alanenud 4,051 ühikuni. Selline muutus võis tuleneda mõõtmisveast. Ülejäänud värvid muutusid kogu katse vältel märkimisväärselt. Teistest värvidest erinevalt jätkus roheline värvi muutus 30- 40 päeva kestel, tõustes 3,301 ühikuni.

**Tabel 3.1.** ΔE aritmeetiliste keskmiste väärtused ajas

SCE	10	20	30	40
Kollane	2,478	2,995	4,584	4,051
Lilla	1,258	1,660	2,228	2,099
Oranž	1,592	1,862	2,662	2,462
Punane	1,269	1,424	1,889	1,841
Roheline	2,205	2,630	3,216	3,301
Sinine	2,027	2,467	3,009	2,985



**Joonis 3.3.** L\* koordinaadi muutused ajas.

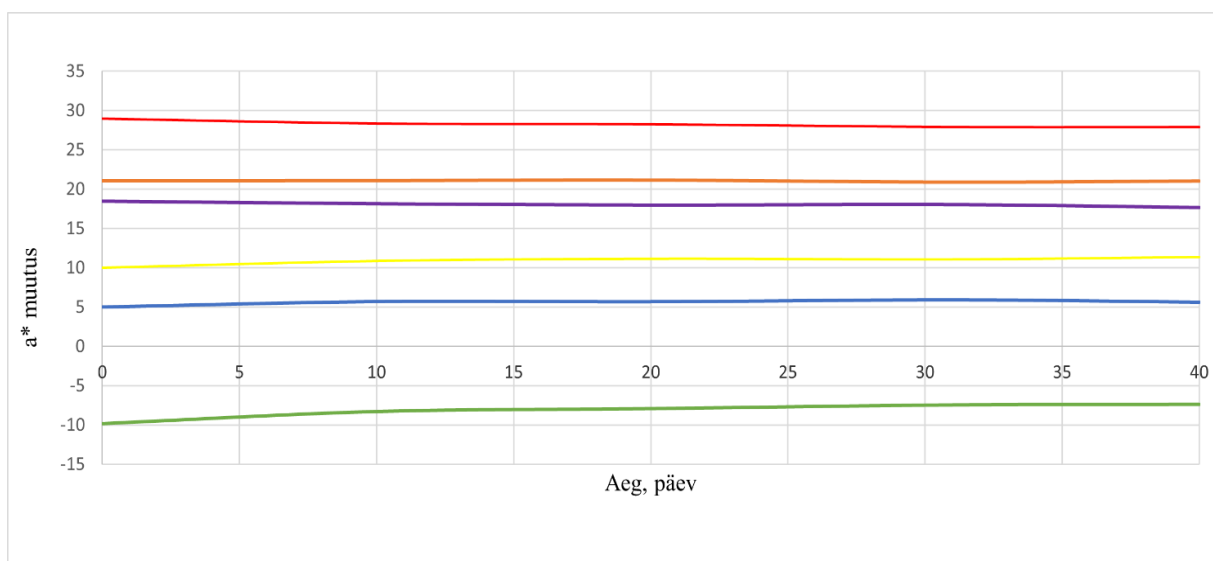
Esimese katse värvitoonide heleduse muutumis ajas kirjeldavad joonis 3.3. ja tabel 3.2. Kollasel värvil langes heledus ühik väiksemaks 30. päeva kontrollmõõtmisel, kuid 40. päeva kontrollmõõtmisel selgus, et heledus ühik oli tõusnud.

Tabelites olevad A1 ja a0 on regressioonivalemi konstandid. A1 näitab päevas keskel läbi koordinaadi tõusu või langust. A0 on vabaliige. X tähistab aega. Valemis 3.1 on valem välja toodud.

$$y = a1 \times x + a0 \quad (3.1.)$$

**Tabel 3.2.** L\* koordinaadi regressioonivalemi konstantide väärtused ajas

SCE L*	a1	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		-0,034	-0,011	-0,077	0,028
Lilla		0,032	0,017	0,002	-0,003
Oranž		-0,004	0,001	-0,017	-0,017
Punane		-0,011	0,019	0,009	-0,032
Roheline		-0,004	0,011	-0,018	-0,017
Sinine		0,066	0,007	-0,012	0,012
	a0	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		49,912	49,684	51,007	47,740
Lilla		31,600	31,752	32,049	32,209
Oranž		42,365	42,318	42,674	42,678
Punane		36,759	36,462	36,668	37,941
Roheline		37,222	37,076	37,658	37,604
Sinine		29,882	30,476	30,852	30,108

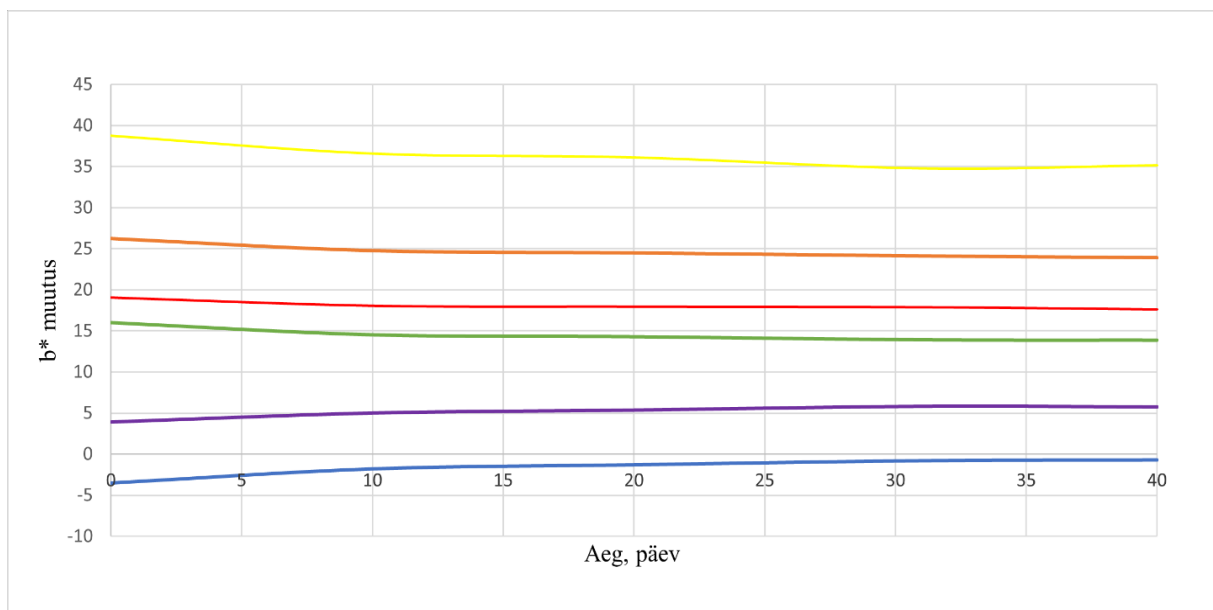


**Joonis 3.4.**  $a^*$  koordinaadi muutused ajas.

Joonise 3.4. ja tabeli 3.3. järgi selgub, et kõige suurem muutus toimus pinnaprindi värvidel peale kümnnendat päeva võrreldes kõikide järgnevate päevadega. Rohelise värvi  $a^*$  koordinaadi muutus oli teistest värvidest kõige suurem. Muutus oli iga päev 0,156 ühikut kümne päeva jooksul. Roheline, sinine ja lilla värv muutusid CIELab süsteemi põhjal punase värvi poole. Kollane, oranž ja punane värv muutusid samuti esimese 30 päeva jooksul punase värvuse poole, kuid viimasel mõõtmisel oli selgus, et antud värvid on liikunud tagasi rohelise värvuse poole.

**Tabel 3.3.**  $a^*$  koordinaadi regressioonivalemi konstantide väärtused ajas

SCE L*	a1	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		0,088	0,029	-0,007	0,033
Lilla		-0,031	-0,016	0,004	-0,039
Oranž		0,003	0,007	-0,024	0,016
Punane		-0,060	-0,010	-0,030	-0,001
Roheline		0,156	0,037	0,043	0,007
Sinine		0,070	-0,002	0,021	-0,032
	a0	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		9,984	10,581	11,292	10,056
Lilla		18,458	18,308	17,911	19,261
Oranž		21,086	21,047	21,658	20,416
Punane		28,964	28,465	28,856	27,964
Roheline		-9,840	-8,650	-8,778	-7,655
Sinine		5,028	5,749	5,281	6,939



**Joonis 3.5.** b\* koordinaadi muutused ajas.

Joonise 3.5. ja tabel 3.4. järgi on b\* koordinaadis muutunud esimesel kümnel päeval kõige enam kollane värv võrreldes teiste värvidega. Muutus oli päevas -0,217 ühiku võrra sinise värvuse poole. Lilla ja sinine värv muutusid esimesed kümnel päeval enim algsest värvitoonist kollase värvuse poole, järgmised 30 päeva muutus vähenes. Kollane, oranž, punane ja roheline värv muutusid sinise värvuse poole.

**Tabel 3.4.** b\* koordinaadi regressioonivalemi konstantide väärtused ajas

SCE L*	a1	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		-0,217	-0,047	-0,121	0,041
Lilla		0,109	0,036	0,042	-0,008
Oranž		-0,149	-0,028	-0,033	-0,025
Punane		-0,099	-0,011	-0,006	-0,029
Roheline		-0,146	-0,023	-0,034	-0,005
Sinine		0,171	0,049	0,045	0,010
	a0	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		38,749	37,052	38,532	33,513
Lilla		3,906	4,644	4,521	6,074
Oranž		26,259	25,053	25,156	24,891
Punane		19,045	18,171	18,062	18,778
Roheline		15,982	14,754	14,971	14,070
Sinine		-3,503	-2,289	-2,204	-1,102

Illustreerimaks värvide muutust saadud numbriliste tulemuste põhjal, on lisatud joonis 3.6 ja tabel 3.5 kollase värvi kohta. CIEL\*a\*b\* süsteemi andmed konverteeriti HTML andmeteks, kasutades Easy RGB veebilehte [35]. Vasakul asub värv, mis mõõdeti enne katse algust ja paremal asub värv, mis mõõdeti katse lõpus.



**Joonis 3.6.** Kollane värv enne ja pärast katset.

**Tabel 3.5.** Numbrilised näitajad kollase värvi kohta

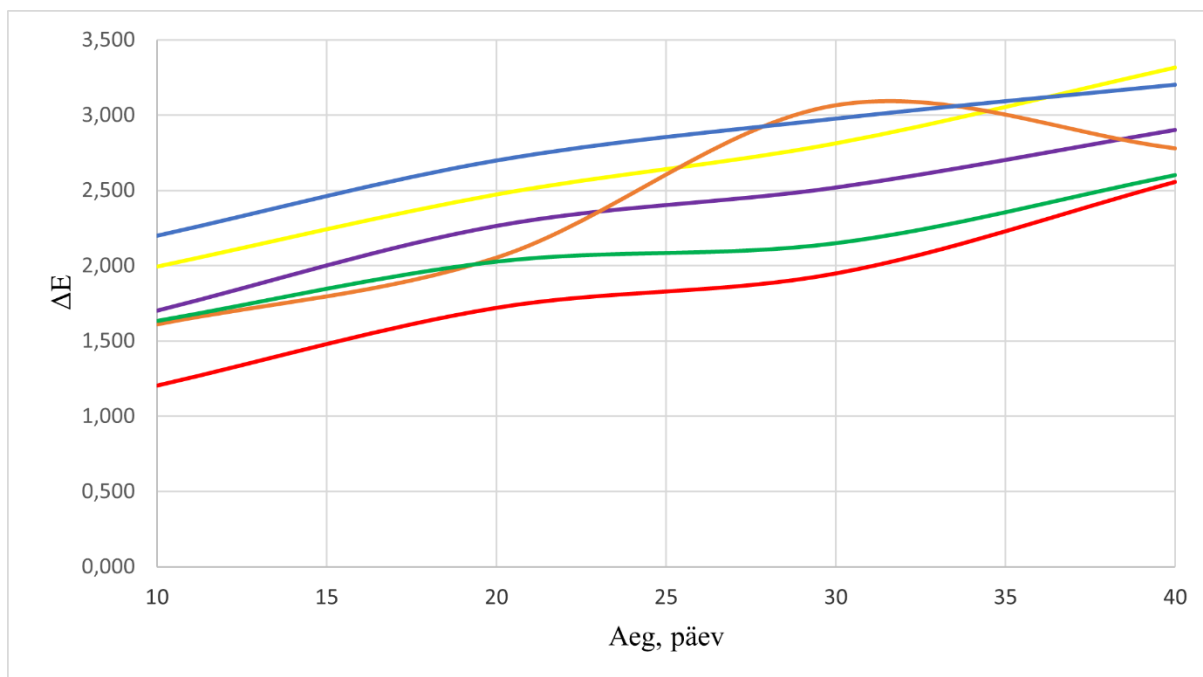
Enne katset	Pärast katset	Vahe
$L^* = 49,912$	$L^* = 48,869$	$\Delta L^* = 1,043$
$a^* = 9,984$	$a^* = 11,380$	$\Delta a^* = -1,396$
$b^* = 38,749$	$b^* = 35,159$	$\Delta b^* = 3,59$
HTML= #986F33	HTML= #966C38	

### 3.2. Vene saunakeskkonna koloriitsuse muutused katsekehadel

Võrdluseks on näidatud joonisel 3.7. 4 katsekeha, kus üleval asetsevad kaks katsetamata katsekeha ja all on teise katse läbinud katsekehad. Võrreldes neid omavahel, näeme, et visuaalselt ei ole värvid oma toone muutnud, kuid katseandmetest selgub, et  $\Delta E$  on kasvavas muutuses.



**Joonis 3.7.** Katsetamata katsekehad ja teise katse läbinud katsekehad.



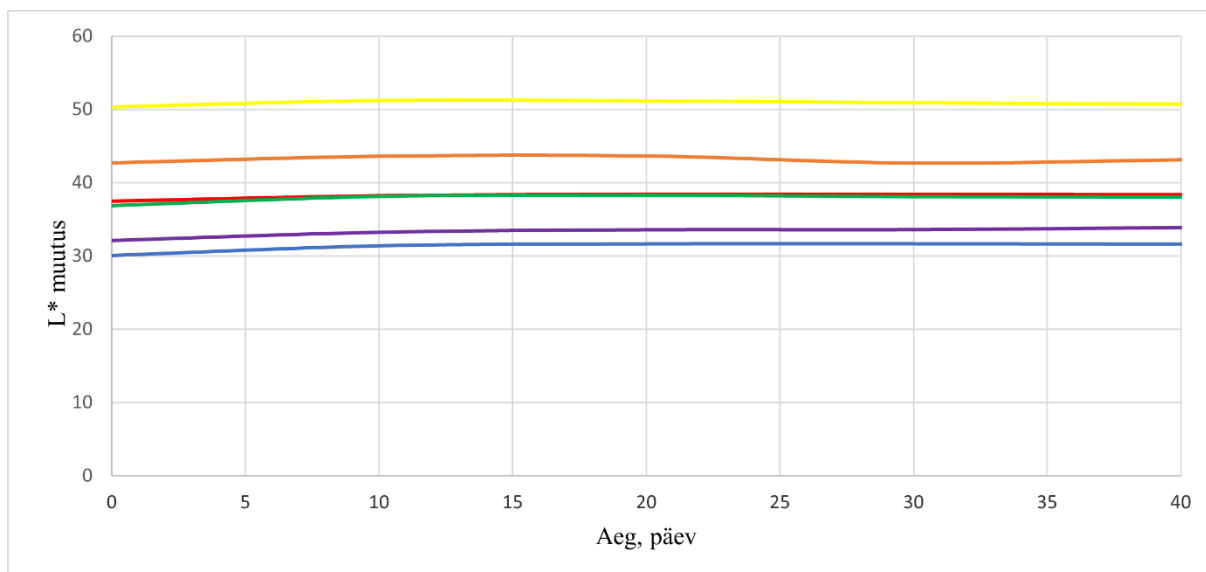
**Joonis 3.8.** ΔE aritmeetiliste keskmiste väärtused ajas.

Vene saunakeskkonna värvitoonide muutused on välja toodud joonisel 3.8. ja tabelis 3.6. Oranži värvitooni muutus on 20 ja 30 päeva vahel 3,067 ühikut. See võis olla mõõtmisviga, sest oranž värv langes tagasi 40. päeva kontrollmõõtmisel 2,781 ühikuni. Ülejäänud värvid on stabiilses kasvavas muutuses alates katse algusest.

40. päeva kontrollmõõtmise järgi oli kollasel ja sinisel värvil viimase kontrollmõõtmise tulemusel kõige suurem muutus esialgsest värvist. Delta E võrdlustabeli järgi on see vahe märgatav.

**Tabel 3.6.** Esimese katse ΔE aritmeetiliste keskmiste väärtused ajas

SCE	10	20	30	40
<b>Kollane</b>	1,994	2,474	2,814	3,317
<b>Lilla</b>	1,700	2,265	2,520	2,904
<b>Oranž</b>	1,611	2,054	3,067	2,781
<b>Punane</b>	1,202	1,719	1,947	2,556
<b>Roheline</b>	1,633	2,026	2,149	2,601
<b>Sinine</b>	2,198	2,699	2,979	3,204



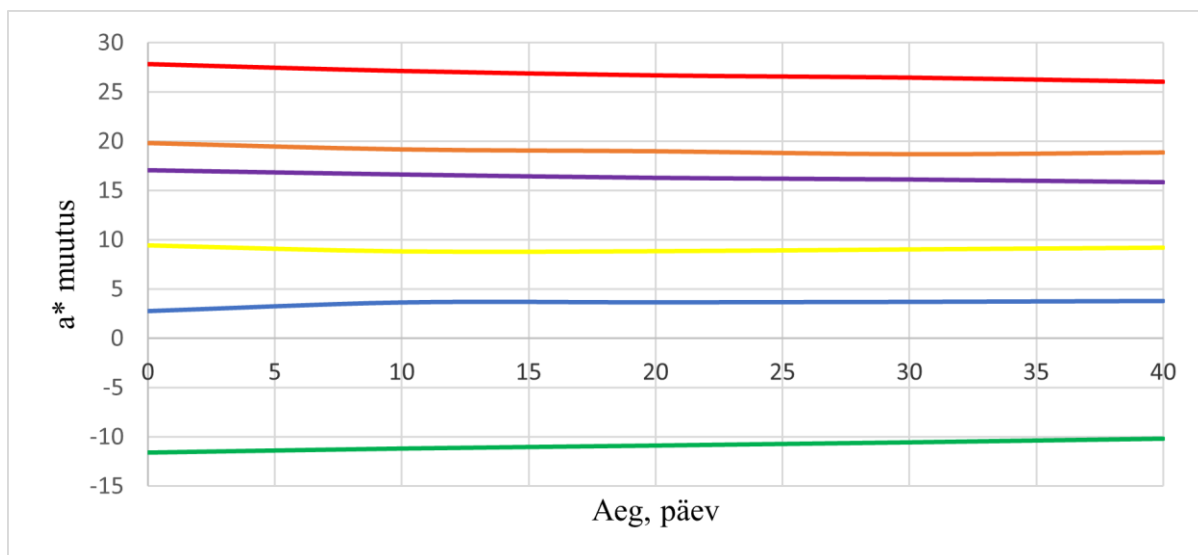
**Joonis 3.9.** L\* koordinaadi muutused ajas.

Joonise 3.9. ja tabeli 3.7. andmetel on L\* koordinaadi muutused väikesed. Esimese kümme päeva kontrollmõõtmise käigus selgus, et oli toimunud kõige suurem muutus, kuid järgmiste kontrollmõõtmiste tulemustel muutus heleduse ühik päevas väiksemaks. Kõik värvid muutusid heledamaks, kuid peale 20. päeva kontrollmõõtmist selgus, et heledus hakkas langema tagasi esialgse näitaja poole.

**Tabel 3.7.** L\* koordinaadi regressioonivalemi konstantide väärtused ajas

SCE L*	a1	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		0,089	-0,005	-0,026	-0,019
Lilla		0,110	0,033	0,002	0,027
Oranž		0,089	0,004	-0,097	0,045
Punane		0,077	0,019	-0,003	-0,002
Roheline		0,123	0,015	-0,019	-0,006
Sinine		0,129	0,026	0,001	-0,005
	a0	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		50,332	51,271	51,690	51,462
Lilla		32,123	32,887	33,513	32,748
Oranž		42,695	43,547	45,565	41,319
Punane		37,457	38,036	38,477	38,460
Roheline		36,882	37,962	38,649	38,246
Sinine		30,078	31,106	31,601	31,800



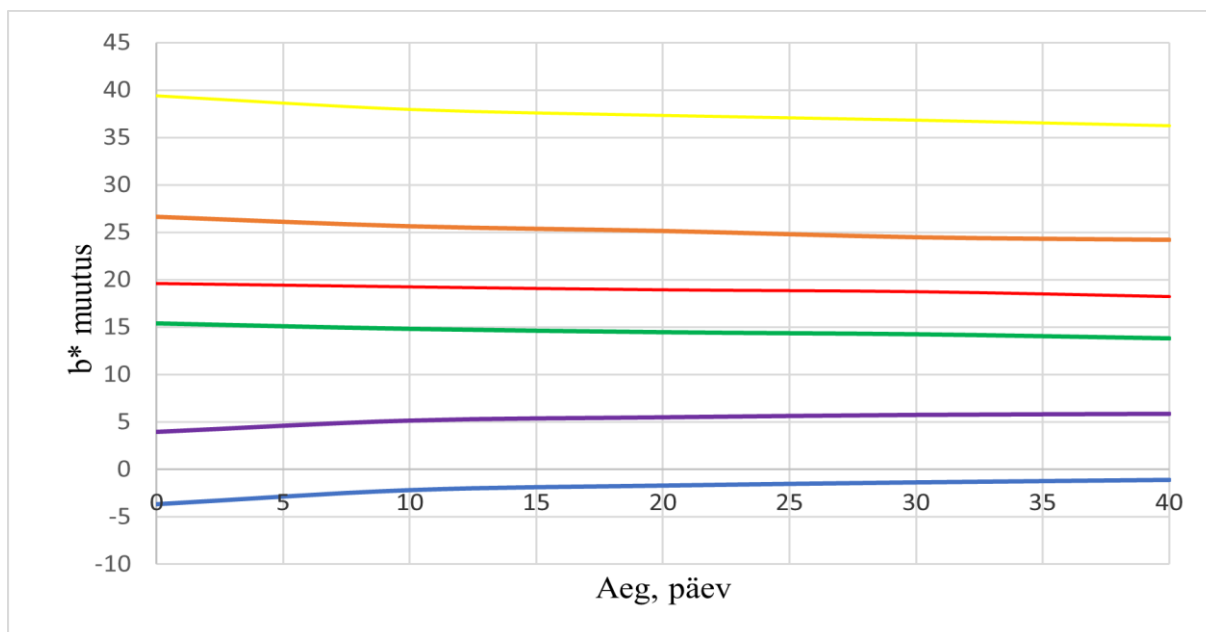


**Joonis 3.10.** a\* koordinaadi muutused ajas.

Vene saunakeskkonna a\* koordinaadi muutused on esitatud joonisel 3.10. ja tabelis 3.8. Esimesel kümnel päeval oli muutuse ühik sinisel värvil 0,09 ühikut, mis on võrreldes teiste värvidega kõige suurem. Edaspidi kontrollmõõtmiste käigus selgus, et ühiku näit jäi 0,001 ühiku ja 0,009 ühiku vahele. Vaadates ka teiste värvide muutusi, on need väiksemad kui esimesel kümnel päeval. Lilla, oranž, roheline ja sinine värv on muutnud oma tooni punase värvuse poole. Kollane ja punane värv on muutnud oma tooni sinise värvuse poole. Kuigi kollane värv muutus tagasi punase värvuse poole.

**Tabel 3.8.** a\* koordinaadi regressioonivalemi konstantide väärtused ajas

SCE a*	a1	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		-0,059	0,002	0,017	0,017
Lilla		-0,044	-0,034	-0,017	-0,028
Oranž		-0,067	-0,020	-0,031	0,019
Punane		-0,070	-0,044	-0,023	-0,042
Roheline		0,041	0,031	0,033	0,037
Sinine		0,091	0,001	0,005	0,009
	a0	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		9,419	8,812	8,502	8,519
Lilla		17,072	16,973	16,635	16,958
Oranž		19,855	19,388	19,614	18,122
Punane		27,852	27,598	27,170	27,748
Roheline		-11,553	-11,446	-11,485	-11,629
Sinine		2,762	3,655	3,584	3,456



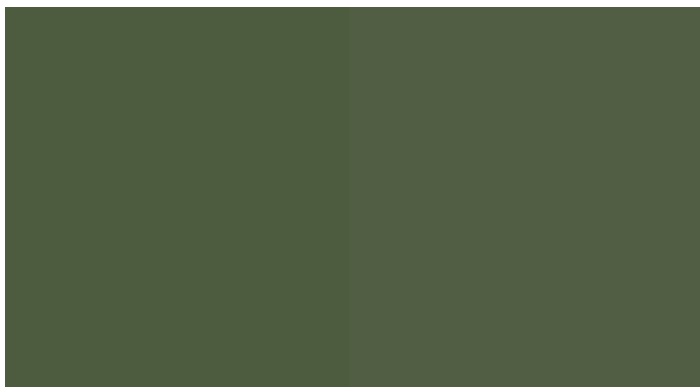
**Joonis 3.11.** b\* koordinaadi muutused ajas.

Joonisel 3.11. ja tabelis 3.9. on näidatud b\* koordinaadi muutused, kus esimesel kümnel päeval on olnud muutus kõige suurem võrreldes ülejäänud päevade näitajatega. Kollane, oranž, punane ja roheline värv on muutnud oma värvitooni sinise värvi poole. Lilla ja sinine värv on muutnud oma tooni kollase värvi poole.

**Tabel 3.9.** b\* koordinaadi regressioonivalemi konstantide väärtused ajas

SCE b*	a1	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		-0,144	-0,063	-0,050	-0,059
Lilla		0,115	0,034	0,025	0,011
Oranž		-0,098	-0,049	-0,066	-0,027
Punane		-0,036	-0,032	-0,020	-0,053
Roheline		-0,058	-0,036	-0,022	-0,044
Sinine		0,146	0,047	0,033	0,026
	a0	0-10	10-20	20-30	30-40
Kollane		39,383	38,574	38,314	38,575
Lilla		3,993	4,812	4,991	5,401
Oranž		26,629	26,135	26,468	25,300
Punane		19,632	19,589	19,346	20,335
Roheline		15,399	15,183	14,898	15,555
Sinine		-3,641	-2,647	-2,376	-2,149

Tooni muutus rohelise värvi näitel on välja toodud joonisel 3.12 ja tabelis 3.10. Vasakul asub värv, mis mõõdeti enne katse algust ja paremal asub värv, mis mõõdeti katse lõpus.



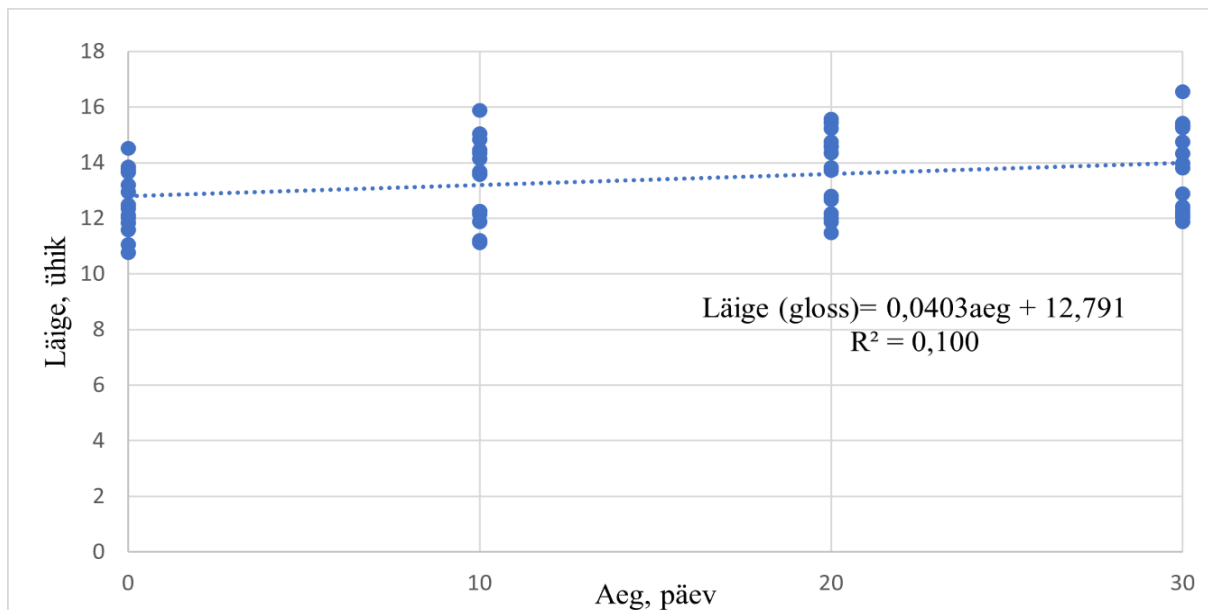
**Joonis 3.12.** Roheline värv enne ja pärast katset.

**Tabel 3.10.** Numbrilised näitajad rohelise värvi kohta

Enne katset	Pärast katset	Vahe
$L^* = 36,882$	$L^* = 38,017$	$\Delta L^* = -1,135$
$a^* = -11,553$	$a^* = -10,137$	$\Delta a^* = -1,416$
$b^* = 15,399$	$b^* = 13,807$	$\Delta b^* = 1,592$
HTML= #4D5B3E	HTML= #515E43	

### 3.3. Läike muutused soome saunakeskkonnas

Läike muutus soome saunakeskkonnas on esitletud joonisel 3.13. Katseajal muutus läike 0,0403 ühikut päevas. Tabel 3.11. on koondatud t-testiga tehtud kontrollmõõtmiste erinevuse usaldusvääruse tulemused. Esimese ja kolmanda kontrollmõõtmise erinevus on usaldusväärne, samuti esimese ja neljanda kontrollmõõtmise erinevus, sest näitaja jääb alla 0,05.



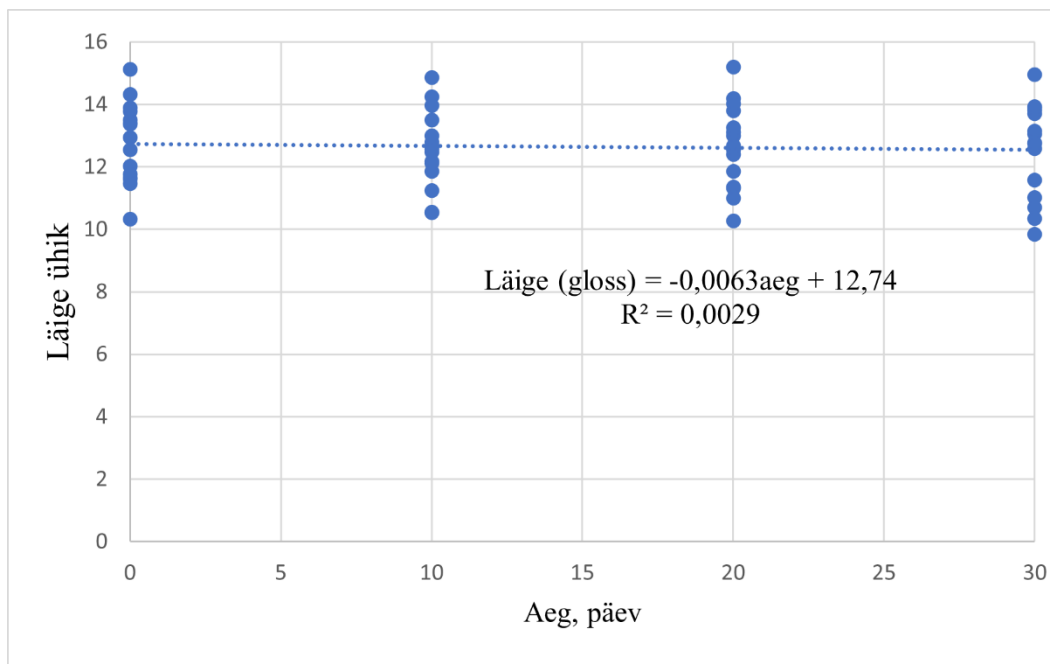
**Joonis 3.13.** Läike muutused ajas.

**Tabel 3.11.** Läike muutused ajas. T-test

Esimese mõõtmise aeg (päev)	Teine mõõtmise aeg (päev)		
	10	20	30
0	0,150	<b>0,036</b>	<b>0,017</b>
10		0,558	0,338
20			0,679

### 3.4. Läike muutused vene saunakeskkonnas

Vene saunakeskkonna läike muutusi iseloomustab joonis 3.14. Päevas muutus läige -0,0063 ühikut, mis on visuaalselt silmaga mitte nähtav tuhmumine. Tabel 3.12. näitab, et kõigi kontrollmõõtmiste erinevus ei ole usaldusväärne, sest tulemused on üle 0,05.



**Joonis 3.14.** Läike muutused ajas.

**Tabel 3.12.** Läike muutused ajas.

Esimese mõõtmise aeg (päev)	Teine mõõtmise aeg (päev)		
	10	20	30
0	0,658	0,810	0,641
10		0,848	0,948
20			0,812

### 3.5. Ristlõikekatse tulemused soome ja vene saunakeskkonnas

Esimese kontrolltesti visuaalsed hinnangud on välja toodud tabelis 3.13. Soome sauna keskkonnas olnud katsekehade ristlõikekatsed olid ilma kahjustusteta, hinnatud ala oli 100% terve. Vene saunakeskkonnas olnud katsekehade kahjustused olid alla 5% kogu ristlõike pinnast. Joonistel 3.15. - 3.19. on esitletud soome- ja vene saunakeskkonna katsekehad, millele teostati ristlõikekatsed.

**Tabel 3.13.** Esimese kontrolltestimise visuaalne hinnang

Soome sauna			Vene sauna		
Kollane	Katsekeha	Hinnang	Kollane	Katsekeha	Hinnang
	AS1	0		AV1	2
	AS2	0		AV2	1
	AS3	0		AV3	1
	AS4	0		AV4	0
	AS5	0		AV5	1
	Keskmine	0		Keskmine	1
Oranž	Katsekeha	Hinnang	Oranž	Katsekeha	Hinnang
	AS1	0		AV1	1
	AS2	0		AV2	1
	AS3	0		AV3	0
	AS4	0		AV4	1
	AS5	0		AV5	1
	Keskmine	0		Keskmine	0,8



**Joonis 3.15.** AS1 ja AV1 võrdlus.



**Joonis 3.16.** AS2 ja AV2 võrdlus

Teise kontrolltesti tulemused on välja toodud tabelis 3.14. Soome saunakeskkonnas olnud katsekehadel esines rohkem kahjustusi võrreldes eelmise kontrolltestiga. Kahjustused olid alla 5%. Lõigete ristumiskohtades oli näha väikseid pinnaprindi kahjustusi. Vene saunakeskkonnas olnud katsekehadel oli kahjustusi 5% - 15% lilla värvi testimiskohas. Katsekehal AV1 hinnati kahjustused suuremaks kui 35%.

**Tabel 3.14.** Teise kontrolltestimise visuaalne hinnang

Soome saun			Vene saun		
Punane	Katsekeha	Hinnang	Punane	Katsekeha	Hinnang
	AS1	1		AV1	3
	AS2	0		AV2	1
	AS3	0		AV3	2
	AS4	1		AV4	2
	AS5	0		AV5	2
	Keskmine	0,4		Keskmine	2
Lilla	Katsekeha	Hinnang	Lilla	Katsekeha	Hinnang
	AS1	0		AV1	3
	AS2	1		AV2	1
	AS3	0		AV3	1
	AS4	1		AV4	1
	AS5	1		AV5	2
	Keskmine	0,6		Keskmine	1,6



**Joonis 3.17.** AS3 ja AV3 võrdlus.

Kolmanda kontrolltestimise tulemused on välja toodud tabelis 3.15. Soome saunakeskkonnast tingitud pinnaprindi adhesiooni muutused katsekehadel on samade näitajatega, mis teisel kontrolltestimisel. Vene saunakeskkonna näitajad on paranenud, kuid siiski suuremad kui soome saunakeskkonnal. Katsekeha AV1 on suuremate kahjustustega kui teised katsekehad.

**Tabel 3.15.** Kolmanda kontrolltestimise visuaalne hinnang

Soome saun			Vene saun		
Sinine	Katsekeha	Hinnang	Sinine	Katsekeha	Hinnang
	1	1		1	2
	2	1		2	0
	3	0		3	1
	4	0		4	1
	5	0		5	1
	Keskmine	0,4		Keskmine	1
Roheline	Katsekeha	Hinnang	Roheline	Katsekeha	Hinnang
	1	0		1	3
	2	2		2	1
	3	1		3	2
	4	0		4	1
	5	0		5	1
	Keskmine	0,6		Keskmine	1,6



Hinnates kõikide ristlõikekatsete tulemuste keskmisi, siis on näha, et vene saunakeskkond on avaldanud rohkem mõju tindi adhesioonile. See on tingitud niiskest keskkonnast ja puit kui hügrokoopne materjal imab endasse niiskust, mille tagajärjel muutuvad puidus olevad tselluloosi kiud plastsemaks [37].



**Joonis 3.18.** AS4 ja AV4 võrdlus.



**Joonis 3.19.** AS5 ja AV5 võrdlus.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida prinditud pinna vastupidavust saunakeskkonnas. Antud uurimustöö on üks osa Kompetentsikeskuse Tsenter rakendusuuringust, mis keskendub pinnaprindi kvaliteedile ekstreemtingimustes. Vastavalt koostatud tegevuskavale, kuhu kaasati ka Thermoy AS, valiti välja kolm mõõtmismeetodit. Kasutades Eesti Maaülikooli puidulaborit ja Tsentrilt saadud mõõtmisseadmeid, katsetati pinnaprinditud katsekehi 40 päeva vältel kahes erinevas saunakeskkonnas. Katsekehade materjaliks valiti termotöödeldud haab, sest Thermory AS esindaja sõnul on nõudlus haavapuidust saunade järgi suurem kui lelapuidust. Esimeseks saunakeskkonnaks oli soome saunaga sarnanev 100 °C ja 5% niiskusega keskkond. Teiseks saunakeskkonnaks oli vene saunaga sarnanev 80 °C ja 40% niiskusega keskkond. Katsekehandel mõõdeti koloriitsust enne katse algust ja iga 10 päeva tagant, kasutades spektrofotomeetrit. Kokku tehti viis kontrollmõõtmist ja arvutati värvitoonide vahe  $\Delta E$ . Teiseks muutuvaks parameetrikaks katsekehandel oli läige, mida mõõdeti läikemõõtjaga enne katse algust ja iga 10 päeva tagant. Läike erinevuste mõõtmiseks hoiti katsekehi 30 päeva saunakeskkondades. Kolmandaks teostati kümnele katsekehale ristlõikekatsed, millega hinnati akrüültindi adhesiooni vastupidavust iga 10 päeva tagant.

Uuringu mõõtmistulemustest selgus, et pinnaprindi koloriitsus muutus 40 päeva möödudes, kuid visuaalselt hinnates muutust ei täheldatud. Koloriitsuse muutused olid esimese 10 päeva jooksul suuremad kui ülejäänud katse ajal. Soome saunakeskkonnas esines läike suurenemist 40 päeva jooksul, kuid vene saunakeskkonnas esines läike alanemist. Soome saunakeskkonnas olid paremad tulemused tindi adhesiooni osas kui vene saunakeskkonnas. Tingitud niiskest keskkonnast oli tindi adhesioon nõrgem kui soome saunakeskkonnas.

Magistritöö eesmärgid said täidetud. Uuriti pinnaprindi vastupidavust kahes saunakeskkonnas. Katsetulemustel on praktiline väärtus, sest need on aluseks ja toeks tulevastele projektidele, mis puudutavad pinnaprindi uuringuid saunakeskkonnas.

.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] **Boonstra, M.** (2008) A two-stage thermal modification of wood. Other. Université Henri Poincaré -Nancy 1.
- [2] **Institut fuer Holztechnologie gemeinnuetzige GmbHAla.** Definition of Terms: TMT, Thermowood. (2018) lk. 1
- [3] **Sandberg, D. Kutnar, A.** (2015) Thermal modified timber: recent developments in Europe and North America.
- [4] **International ThermoWood Association.** ThermoWood Handbook. (2003) lk.5.
- [5] **Sandberg, D. Haller, P. Navi, P.** (2013) Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An oppurtinity for future environmentally friendly wood products. 64-88lk.
- [6] **Militz, H.** (2002) Heat treatment of wood: European processes and their background. In: International Research Group Wood Pre. Section 4-Processes. N° IRG/WP 02- 40241.(ref **Esteves, B. Pereira, H.** (2009) Wood modification by heat treatment: A review.)
- [7] **Brünahl, J.** (2003) Physics of piezoelectric shear mode inkjet actuators. Kungl Tekniska Hogskolan, Stockholm/Kista. (ref. **Bartky, W. S. Paton, A. D. Temple, S. Michaelis, A. J.** (1989) Droplet deposition apparatus. U.S. Patent no. 4,879,568, Xaar.) (ref. **Beurer, G. Kretschmer, J.** (1997) Function and performance of a shear mode piezo printhead. In International Conference on Digital Printing Technologies NIP 13, lk. 621–625. IS&T.)
- [8] **Martin, G.D. Hoath, S.D. Hutchings, I.M.** (2008) Inkjet printing- the physics of manipulationg liquid jets and drops. Engineering and Physics- Synergy for Success, 03/01 2008, IOP Publishing Ltd. Ppl-14.
- [9] **Pawlak, D. Boruszewski, P.** (2020) Digital printing in wood industry. Article in Annals of WULS Forestry and Wood Technology. (ref. **Piller, F. Walcher, D.** (2017) Leading mass customization and personalization: How to profit from service and product customization in e-commerce and beyond.)
- [10] **Koenig, K. M.** (2014) Picture this: digital printing on wood. Bringing new oppurtunities in woodworking. Woodworking Network.
- [11] Eesti Entsüklopeedia. [veebileht] (30.05.2021) <http://entsyklopeedia.ee/artikkel/cmyk>
- [12] Instructions manual Pixart Plot16. (2015) Plotter. Intesa. Technical documentation.
- [13] Tehniline dokumentatsioon Pixart Plot16. Tölge eesti keelde Kaur Trade poolt.

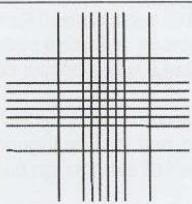
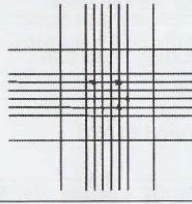
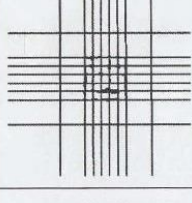
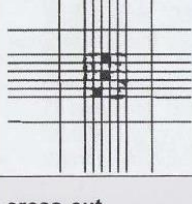
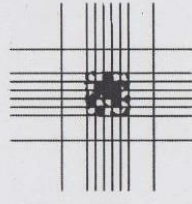
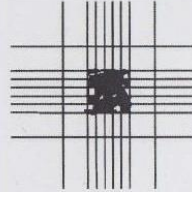
- [14] **Kim-Pusateri, S. Brewer, J. D. Davis, E. L. Wee, A. G.** (2009) Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. State University of New York at Buffalo, Buffalo, NY; Nebraska Medical Center, Omaha, Neb.
- [15] Delta E. [veebileht] <http://zschuessler.github.io/DeltaE/learn/> (26.02.21)
- [16] Xrite PANTONE. (2018). LAB Color Values. [veebileht]. <https://www.xrite.com/blog/lab-colorspace> (26.02.21)
- [17] A guide to understanding colour communication. (2016) Lovibond Colour.
- [18] Planning & implementation of construction projects, Playgrounds and sports facilities, Sports facilities. Austrian Standards. ÖNORM M 6219-1:2016 11 01. (2016).
- [19] **Barry, M.** (2017) UV Ink Part 1: How UV-curable Ink Works. Fujifilm. [veebileht] <https://www.fujifilminkjet.com/uv-ink-part-1-uv-curable-ink-works/> (23.04.21)
- [20] **Xu, J. Lin, P. Long, L. Wu, H. Liu, R.** (2019) Aging Performance of Nano-ZnO Modified Polyurethane-Acrylic UV Ink Composites on Wood and the Degradation Mechanism. Research Institute of Forestry New Technology, Chinese Academy of Forestry, Haidian, Beijing, China.
- [21] EVS-EN 13722:2004. (2004) Mööbel. Pinna läike hindamine. Eesti Standardikeskus.
- [22] DIN EN ISO 2409:2020. (2020) Paints and varnishes. Cross-cut test. Internation
- [23] CEN/TS 15679:2007. (2007). Termiliselt modifitseeritud puit. Määratlused ja omadused. Eesti Standardikeskus.
- [24] Konica Minolta. Precise Color Communication. Color and Gloss (SCE and SCI methods). [veebileht] <https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/part3/02.html> (12.05.2021)
- [25] Teaduse ja tehnika seletav sõnaraamat I. (1997). Tallinn: TEA Kirjastus, 567.
- [26] WTT Service APS. [veebileht] <https://wtt.global/products/thermo-treatment/> (17.05.2021)
- [27] **Hikita, Y. Toyoda, T. Azuma, M.** (2001) Weathering testing of timber: discoloration. High performance utilization of wood for outdoor uses. Press-Net: Kyoto, Japan.
- [28] Cross-cut tester ZCC 2087. Instruction manual. Version 1.2. (2006)
- [29] X-rite. Colorimeter vs. Spectrophotometer. (2019) [veebileht] <https://www.xrite.com/es/blog/colorimeter-vs-spectrophotometer> (27.05.2021)
- [30] **Pawlak, D. Boruszewski, P.** (2020) Digital printing in wood industry. Article in Annals of WULS Forestry and Wood Technology. (ref. [veebileht] Agfa: <https://www.agfa.com/printing/large-format/printers/>) (ref. [veebileht] Cefla: [www.ceflafinishing.com/en/products-and-solutions/product-search/j-print-sp/](http://www.ceflafinishing.com/en/products-and-solutions/product-search/j-print-sp/)) (21.03.2021)

- [31] **Brünahl, J.** (2003) Physics of piezoelectric shear mode inkjet actuators. Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm/Kista. (ref. **Goldman, T. Gonzales, J. S.** (2000) DNA- printing: utilization of a standard inkjet printer for the transfer of nucleic acids to solid supports. J. Biochem. Biophys. Methods, 42:105–110lk.) (ref. **Perein, G. Lundgren, T. Khuri-Yakub, B.** (1998) Controlled ink-jet printing and deposition of organic polymers and solid particles. Appl. Phys. Lett, 73:No.16.) (ref. **Voit, W. Rao, K. V. Zapka, W.** Direct -write process for UV-curable epoxy materials by inkjet technology. lk. LL3.5.1. in Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 758.)
- [32] **Esteves, B. Pereira, H.** (2009) Wood modification by heat treatment: A review.
- [33] **Jermer, J. Bengtsson, C. Brem, F. Clang, A. Ek-Olausson, B. Edlund, M-L.** (2003) Heat-treated wood- durability and technical properties. Swedish Wood Association project 2001-025. SP Report 2003:25.
- [34] Tööstusuudised. Eesti puidu eksport suutis hoida teist aastat rekordiliselt kõrget taset. (2020) [veebileht] <https://www.toostusuudised.ee/uudised/2020/04/30/eesti-puidu-eksport-suutis-hoida-teist-aastat-rekordiliselt-korget-taset> (28.05.2021)
- [35] Easy RGB. (2021) [veebileht] <https://www.easyrgb.com/en/> (25.05.2021)
- [36] Võõrsõnade leksikon. (2021) [veebileht] <http://www.eki.ee/dict/vsl/vsl.html> (25.05.2021)
- [37] **Tuulik, D.** (2011) Sissejuhatus tekstiilmaterjaliõpetusse. Hügroskoopsus. [veebileht] <https://eprints.tktk.ee/id/eprint/154/1/hgroskoopsus.html> (30.05.2021)
- [38] Linguee. Inglise- Eesti sõnaraamat. [veebileht] <https://www.linguee.com/estonian-english/translation/fotoinitsiaator.html> (30.05.2021)

**LISAD**



## Lisa 1. Tabel adhesiooni visuaalseks hindamiseks.

cross-cut	according to EN ISO 2409	according to ASTM D 3359
	0: the edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.	<b>5B</b> area affected 0%
	1: Detachment of small flakes of the coating at the intersections of the cuts. A cross cut area not significantly greater than 5% is affected.	<b>4B</b> less than 5%
	2: The coating has flaked along the edges and/or at the intersections of the cuts. A cross-cut area significantly greater than 5% but not significantly greater than 15% is affected.	<b>3B</b> area affected 5 - 15 %
	3: The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons, and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area significantly greater than 35% is affected.	<b>2B</b> area affected 15 - 35 %
cross-cut	according to EN ISO 2409	according to ASTM D 3359
	4: The coating has flaked along the edges of the cuts in large ribbons, and/or some squares have detached partly or wholly. A cross-cut area significantly greater than 35%, but not significantly greater than 65%, is affected.	<b>1B</b> area affected 35 - 65 %
	5: Any degree of flaking than cannot even be classified by classification 4.	<b>0B</b> area affected above 65 %

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Taivo Leesment,

Sünniaeg 23.09.1995

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö  
Prinditud pinna vastupidavus sauna keskkonnas,  
mille juhendajad on Regino Kask ja Jürgen Dobris

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 31.05.2021

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)